

# **Académie & Société Lorraines des Sciences**

Etablissement d'Utilité Publique  
(Décret ministériel du 26 avril 1968)

ANCIENNE  
SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY  
fondée en 1828

**BULLETIN**  
TRIMESTRIEL

1974

TOME 13 - NUMERO 2

## AVIS AUX MEMBRES

---

**COTISATIONS.** — Les cotisations (30 F) peuvent être réglées à M. le Trésorier Académie et Société Lorraine des Sciences, Biologie Animale 1<sup>er</sup> Cycle, Faculté des Sciences, boulevard des Aiguillettes, Nancy. Chèque bancaire ou C.C.P. Nancy 45-24.

**SEANCES.** — Les réunions ont lieu le deuxième jeudi de chaque mois, sauf vacances ou fêtes tombant ce jour, à 17 heures, Salle d'Honneur de l'Université, 13, place Carnot, Nancy.

**BULLETIN** — Afin d'assurer une parution régulière du Bulletin, les Membres ayant fait une communication sont invités à remettre leur manuscrit en fin de séance au Secrétariat du Bulletin. A défaut, ces manuscrits devront être envoyés à son adresse (8, rue des Magnolias, parc Jolimont-Trinité, 54220 Malzéville) dans les quinze jours suivant la séance. Passé ce délai, la publication sera ajournée à une date indéterminée.

Les corrections d'auteurs sur les épreuves du Bulletin devront obligatoirement être faites dans les huit jours suivant la réception des épreuves, faute de quoi ces corrections seront faites d'office par le Secrétaire, sans qu'il soit admis de réclamations. Les demandes de tirés à part non formulées en tête des manuscrits ne pourront être satisfaites ultérieurement.

Les clichés sont à la charge des auteurs.

### TARIF DES TIRES A PART

25 exemplaires gratuits.

Par 50 exemplaires supplémentaires, 1 page : 15,00 F (soit 30,00 F le feuillet recto-verso).

Il n'y a pas de limitation de longueur, ni du nombre des communications. Toutefois, les publications des travaux originaux restent subordonnées aux possibilités financières de la Société. En cas d'abondance de communications, le Conseil déciderait des modalités d'impression.

Il est précisé une nouvelle fois, en outre, que les observations, théories, opinions, émises par les Auteurs dans les publications de l'Académie et Société Lorraine des Sciences, n'impliquent pas l'approbation de notre Groupement. La responsabilité des écrits incombe à leurs Auteurs seuls.

## AVIS AUX SOCIÉTÉS CORRESPONDANTES

---

Les sociétés et Institutions, faisant avec l'Académie et Société Lorraine des Sciences l'échange de leurs publications, sont priées de faire connaître dès que possible éventuellement, si elles ne reçoivent plus ses bulletins. La publication ultérieure de la liste révisée des Sociétés faisant l'échange permettra aux Membres de connaître les revues reçues à la Bibliothèque et aux Correspondants de vérifier s'ils sont bien portés sur les listes d'échanges.

L'envoi des échanges doit être faite à l'adresse :

Bibliothèque de l'Académie et Société Lorraine des Sciences  
8, rue des Magnolias, parc Jolimont-Trinité, 54220 Malzéville

---

**BULLETIN**

**de l'ACADEMIE et de la**

**SOCIETE LORRAINES DES SCIENCES**

(Ancienne Société des Sciences de Nancy)  
(Fondée en 1828)

---

**SIÈGE SOCIAL :**  
Laboratoire de Biologie animale, 1<sup>er</sup> cycle  
Faculté des Sciences, boulevard des Aiguillettes, Nancy

---

**SOMMAIRE**

O. REISINGER, G. KILBERTUS et G. OLAH. — Etude ultrastructurale du développement des conidies d'une souche de aureobasidium pullulans (de Bary) ARNAUD .....	103
G. BAUMANN et J.F. PIERRE. — Une application hydrobiologique des méthodes d'analyse de séries chronologiques .....	113
M. GABRIEL et D. LARCHER. — Dichroïsme circulaire magnétique .....	121
J.F. PIERRE, G. KILBERTUS et O. REISINGER. — Observations ultrastructurales de la biodégradation d'une algue dans un écosystème aquatique .....	137
C. JARDIN. — L'homme, mesure de toutes choses... ..	155
J.F. PIERRE. — Une nouvelle cymbella (diatomophycées) des travertins actuels de Band I Amir (Afghanistan) .....	173

**ETUDE ULTRASTRUCTURALE DU DEVELOPPEMENT  
DES CONIDIES D'UNE SOUCHE DE  
AUREOBASIDIUM PULLULANS (DE BARY) ARNAUD**

Otto REISINGER, Gérard KILBERTUS (1)  
et Gyorgy M. OLAH (2)

RESUME

L'étude au microscope électronique d'une souche de *Aureobasidium pullulans* a révélé que ce microorganisme produisait des annelloconidies typiques.

SUMMARY

Ultrastructural study of conidial development of a strain of *Aureobasidium pullulans* (De Bary) Arnaud.

An electron microscopic study of a strain of *Aureobasidium pullulans* revealed that the development of the conidia is of the annellophore type.

1. — INTRODUCTION

Des travaux se rapportant aux caractères morphologiques et physiologiques de *Aureobasidium pullulans* (De Bary) Arnaud ont été réalisés par de nombreux auteurs (COOKE et MATSUURA, 1963 ; LINGAPPA et coll., 1964).

En essayant, au microscope électronique à transmission, d'étudier la nature du pigment sombre de ce microorganisme ainsi que les modalités de sa production, nous avons pu constater que le type d'ontogénie sporale n'était pas conforme à celui décrit dans la littérature (BARRON, 1968). De ce fait, il nous a semblé nécessaire de préciser les différentes étapes de la sporogénèse chez notre souche.

Nous rappelons que cette espèce, cultivée en milieu liquide, est caractérisée par une phase levuriforme prédominante.

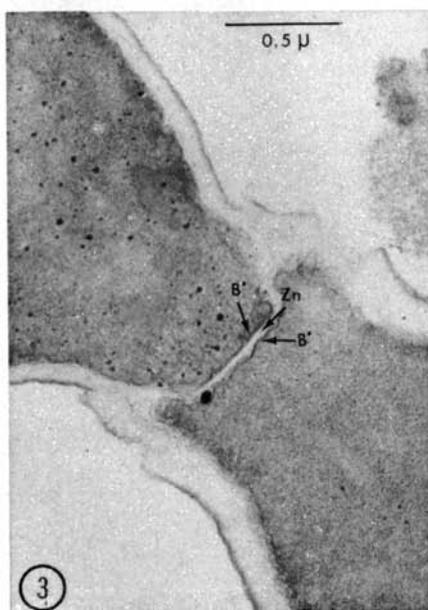
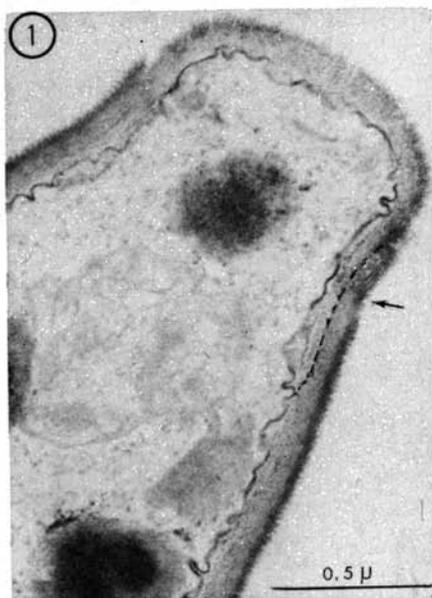
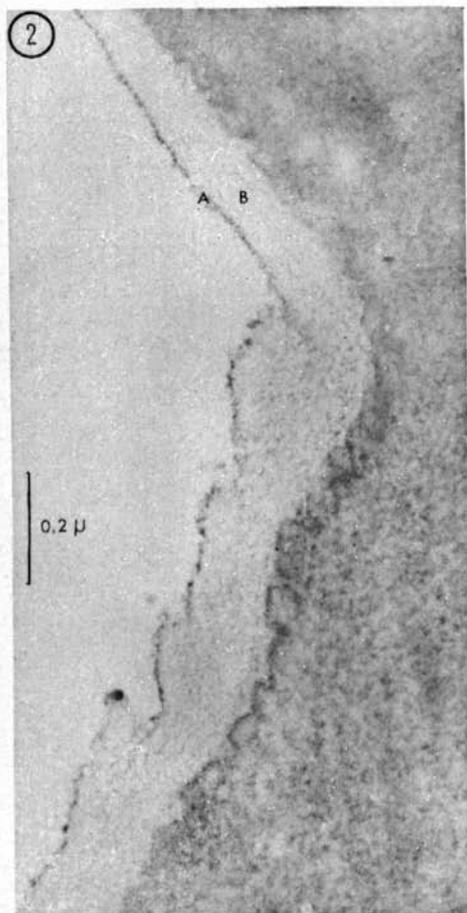
2. — MATERIEL ET METHODES

Le microorganisme a été isolé par M. ROUZIERE, à partir de feuilles mortes d'*Ulmus campestris* L., récoltées à Vandœuvre (à proximité de Nancy, 54 France).

(1) Case officielle n° 140, 54037 Nancy Cedex, France.

(2) Québec 10, P.Q., Canada.

Note présentée à la séance du 13 décembre 1973 par M. PIERRE.



Ses caractéristiques culturales et morphologiques nous ont amené, à l'aide du travail de COOKE (1962), à le rapporter à l'espèce *Aureobasidium pullulans*.

En vue de son étude ultrastructurale, nous avons utilisé, comme milieu de culture, de l'extrait de malt à 2 %, filtré et centrifugé 5 minutes à 6.000 t/min.

Des fioles stationnaires ou agitées, sontensemencées et maintenues à 25° C durant 15 jours. Des échantillons sont prélevés à intervalles réguliers, fixés à l'acide osmique à 2 % pendant 90 minutes, puis déshydratés et inclus dans l'épon. A titre de comparaison, nous avons également réalisé des fixations au  $\text{KMnO}_4$  à 2 %, et selon le procédé de KELLENBERGER et coll. (1958).

Les coupes ont été contrastées au citrate de plomb (REYNOLDS, 1963) et examinées avec un Siemens Elmiskop I A.

### 3. — RESULTATS

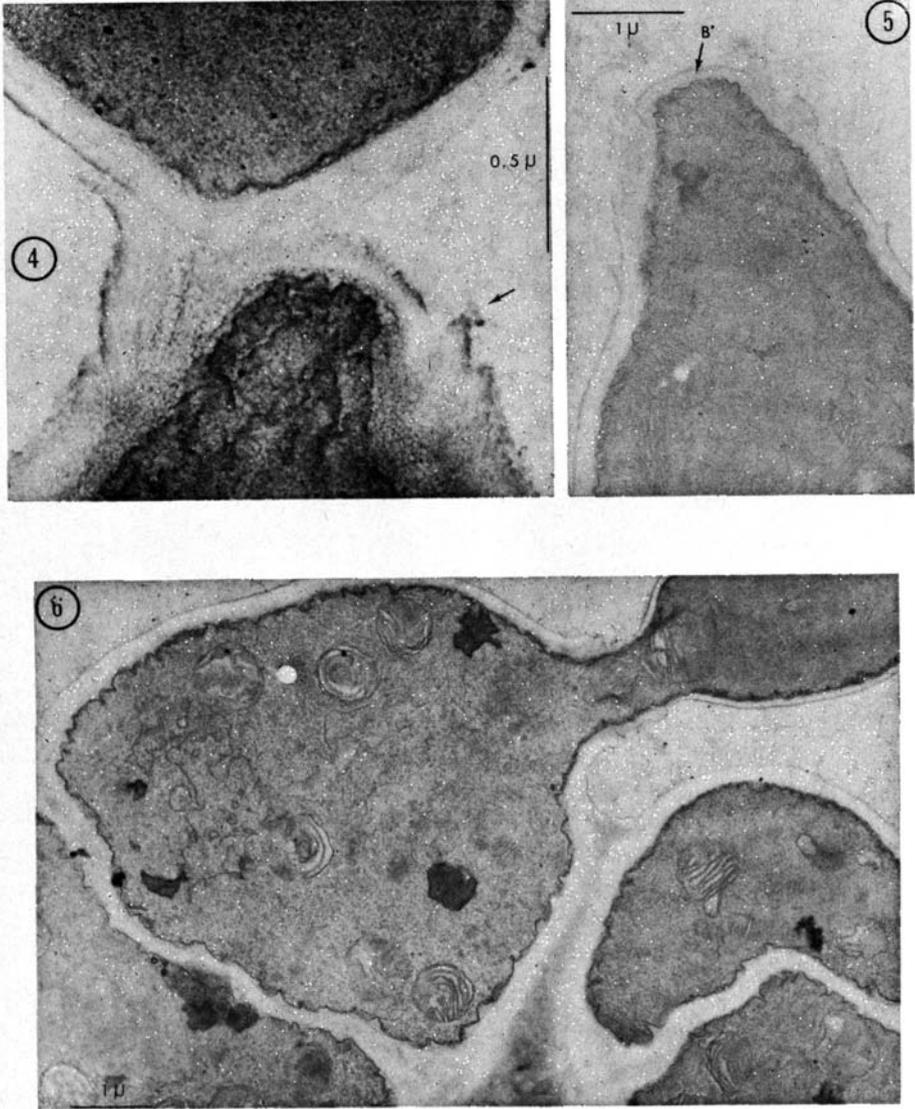
Quel que soit le fixateur employé, les résultats obtenus concordent parfaitement.

Les échantillons, indépendamment de l'âge de la culture, contiennent en mélange des cellules à parois épaisses et des cellules en division active à parois hyalines. Avec le temps, la proportion des premières augmente rapidement.

Avec ces éléments, nous avons pu observer des agglomérats de quelques cellules (Fig. 6). Ces structures, composées de plusieurs loges, sont fréquentes dans les cultures stationnaires. Dans les fioles agitées, elles sont plus petites et moins nombreuses.

Bien que présentant des séquences d'ontogénie sporale, les éléments à parois incrustées de pigments ne permettent pas d'observer toutes les étapes de la sporogénèse. C'est pourquoi nous avons préféré décrire cette dernière à partir de cellules hyalines ou subhyalines.

L'initiation du primordium s'effectue habituellement par un bourgeonnement à base large à l'une ou aux deux extrémités de l'organe fertile (fig. 1). La cellule fille, entourée d'une paroi apigmentée,



présente un contenu dense aux électrons (fig. 2, 3, 4). A une étape donnée de son développement, elle se sépare de l'élément parental par un septum basal (fig. 3). La cellule suivante s'élabore immédiatement en dessous de la cloison séparatrice et sa croissance provoque la libération de la propagule précédente au niveau de la zone de clivage

(fig. 4, 10, 11). La rupture aboutit à la formation d'une zone circulaire à travers laquelle se dégage le nouvel apex fonctionnel (fig. 1, 5). La paroi néoformée de ce dernier est représentée par le feuillet basal du septum.

Le même phénomène peut se répéter de 3 à 6 fois, provoquant l'apparition d'anneaux superposés (fig. 2, 5).

Ce mécanisme, décrit jusqu'à présent pour la phase levuriforme, peut également s'observer au niveau de certaines cellules des agrégats (fig. 6, 7). Cette succession d'anneaux, bien visible au microscope électronique, évoque, au microscope photonique, les spicules de quelques radulaspores.

Les formations représentées dans la figure 9 sont extrêmement rares et, de ce fait, leur interprétation est difficile. Nous pensons qu'il s'agit là d'une étape ontogénique de l'agrégat cellulaire.

Les cloisons intercellulaires de ces agrégats ou des chlamydo-spores présentent une perforation simple du type ascomycète (fig. 12). On peut néanmoins observer des septums à renflement périporal (fig. 8) rappelant les dolipores. Etant donné la rareté de ces formations, il ne s'agit là, probablement, que d'une similitude accidentelle. Pour éclaircir ce problème, d'autres observations nous semblent nécessaires.

#### 4. — CONCLUSION

Les étapes successives de l'ontogénie sporale de *Aureobasidium pullulans* sont identiques à celles de *Doratomyces purpureofuscus* (KIFFER et coll., 1971 ; OLAH et REISINGER, 1973), espèce typique des annellophorées. D'autres micromycètes étudiés au microscope électronique (COLE et ALDRICH, 1971 ; HAMMILL, 1971) présentent une sporogénèse semblable.

Ce type de conidiogénèse prédomine dans nos conditions de culture. Il est indiscutablement caractéristique de notre souche. Nous n'avons jamais observé de séquences pouvant être rapportées à des étapes de la genèse des radulaspores.

Les études effectuées par d'autres auteurs au microscope photonique aboutissent à des résultats contradictoires. Ainsi COOKE (1962) définit les *Aureobasidium* comme produisant des radulaspores. Pour BARRON (1968), les propagules de cette espèce sont des blastospores

se formant sur des spicules. DURREL (1968), à l'aide du microscope électronique, confirme apparemment ce type de sporogénèse.

Nos observations au microscope photonique ne nous ont pas permis de reconnaître la nature annellophorée de la conidiogénèse.

De plus, de par la présence d'un abondant mucilage, les propagules restent groupées autour de l'apex générateur, pouvant suggérer un amas de blastospores.

D'autre part, déjà à l'aide du microscope photonique, nous avons pu observer des cellules autolysées avant apparition importante de pigments dans la paroi. Ces débris cellulaires contaminent les préparations microscopiques et ressemblent étroitement à certaines photographies présentées par LINGAPPA et coll. (1964). L'observation au microscope électronique a confirmé qu'il s'agissait bien là d'autolysats cellulaires. Il est certain que ces derniers contiennent soit le pigment sombre, soit son précurseur, mais ils ne correspondent nullement aux granules « mélaniques » observées par nous-mêmes chez différents champignons (REISINGER, 1972 ; KILBERTUS et coll., 1973) et dont nous nous proposons d'étudier l'apparition en fonction de divers facteurs chez *Aureobasidium pullulans*.

En ce qui concerne la sporogénèse, les résultats que nous avons obtenus avec notre souche sont en contradiction avec les études effectuées au microscope photonique par d'autres auteurs. Les difficultés d'interprétation au microscope photonique sont peut-être à l'origine de ce désaccord.

On peut aussi admettre que l'espèce *Aureobasidium pullulans* regroupe des formes imparfaites de microorganismes très différents.

Seule une étude approfondie au microscope électronique, comme COOKE (1962) l'a fait au microscope photonique, permettra de confirmer l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Université de Nancy I - Laboratoire de  
Microbiologie  
Centre de Deuxième Cycle et Laboratoire  
de Mycologie et de Microscopie Electronique  
de la Faculté des Sciences de l'Agriculture et  
de l'Alimentation  
Université Laval

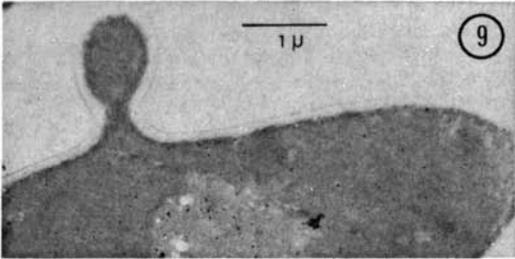
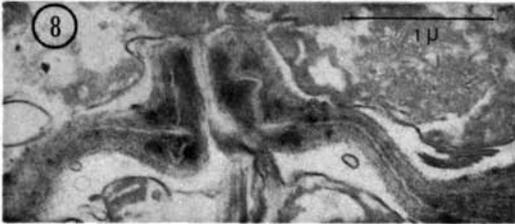
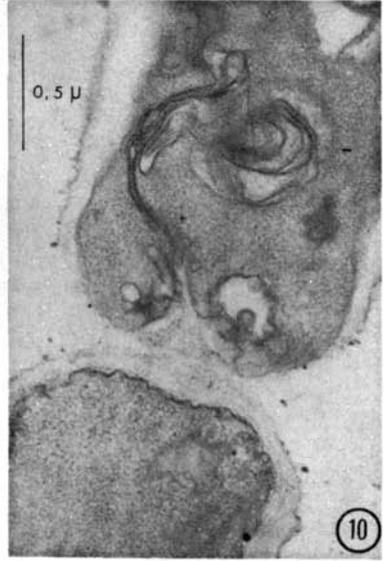
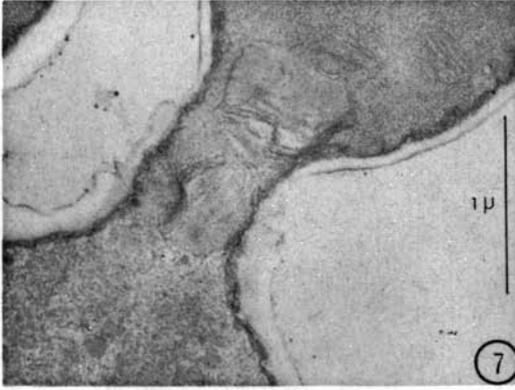
## REMERCIEMENTS

L'étude des coupes fines a été réalisée au Laboratoire de Microscopie électronique de l'Université de Nancy I. Nous exprimons nos plus vifs remerciements à M. le Professeur G. GRIGNON pour les autorisations et les facilités qu'il nous a accordées au cours de ce travail, ainsi qu'à Mmes SIMONETTI et CRAMER pour leur aide technique.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- BARRON G.L., 1968 : *The Genera of Hyphomycetes from Soil*. The Williams and Wilkins Company, Baltimore, 364 p.
- COLE G.T., ALDRICH H.C., 1971 : ultrastructure of conidiogenesis in *Scopulariopsis brevicaulis*. *Can. J. Bot.*, 745-755.
- COOKE, W.B., 1962 : A taxonomic study in the « Black Yeasts ». *Mycopathol. and Mycol. Appl.*, 17, 1-43.
- COOKE W.B., MATSUURA G., 1963 : Physiological studies in the « Black Yeasts ». *Mycopathol. and Mycol. Appl.*, 21 : 225-271.
- DURRELL L.W., 1968 : Studies of *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud. *Mycopathol. and Mycol. Appl.*, 35 : 113-120.
- HAMMILL T.M., 1971 : Fine structure of annellophore. I. *Scopulariopsis brevicaulis* and *S. Koningii*. *Amer. j. Bot.*, 58, 88-97.
- KELENERBERGER E., RYTER A., SECHAUD J., 1958 : Electron microscopic study of DNA containing plasms. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 4 : 671-676.
- KIFFER E.A.A., MANGENOT F., REISINGER O., 1971, Morphologie ultrastructurale et critères taxinomiques chez les Deutéromycètes. IV. *Doratomyces purpleofuscus* (Fres.) Morton et Smith. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 8 : 397-407.
- KILBERTUS G., MANGENOT F., REISINGER O., 1973 : Etude de la décomposition naturelle et expérimentale des feuilles de *Brachypodium pinnatum* P.B. Microécologie et micromorphologie électroniques. Comptes rendus de la RCP 40. Edition CNRS (P.B.I.). Vol. III. 151-193.
- LINGAPPA Y., SUSSMAN A.S., BERNSTEIN I.A., 1963, Effect of light and media upon growth and melanin formation in *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud (= *Pullularia pullulans*). *Mycopathol. and Mycol. Appl.*, 20, 109-128.
- OLAH G.M., REISINGER O., 1973, Etude ultrastructurale et comparative de la genèse de phialoconidies subendogènes et des annelloconidies. Communication présentée durant l'International Symposium on Taxonomy of Fungi, University of Madras, Indes.
- REISINGER O., 1972, Contribution à l'étude ultrastructurale de l'appareil sporifère chez quelques hyphomycètes à paroi mélanisée. Genèse, modification et décomposition. Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles, Nancy; Vol. I, 192 p.; vol. II, 63 p.
- REYNOLDS E.S., 1963, The use of lead citrate at high pH as an electron opaque stain in the electron microscopy. *J. Cell. Biol.*, 17, 208-212.



LEGENDE DES PLANCHES

Fig. 1

Elaboration de la deuxième conidie par une cellule de levure à enveloppe cellulaire subhyaline. Noter la nature néoformée de la paroi de l'apex fonctionnel (renforcée d'un côté par un pointillé : voir flèche).

Fig. 2

Cicatrices conidiennes successives et superposées. Parois avec couches A et B.

Fig. 3

Apparition de la cloison séparatrice, composée des éléments B', zone de clivage (Zn), B'.

Fig. 4

Libération de la cellule fille. Apparition d'une zone de rupture circulaire (flèches).

Fig. 5

Zone annellée résultant de la formation de quatre propagules successives. Élément B'.

Fig. 6 et 7

Agrégats cellulaires et détail du bourgeonnement.

Fig. 8

Cloison à renflement périporal (rare).

Fig. 9

Bourgeonnement latéral représentant probablement une étape dans l'ontogénie des agrégats.

Fig. 10 et 11

Séparation de la cellule fille au niveau de la zone de clivage.

Fig. 12

Cloison à perforation simple du type ascomycète (très fréquent).

## UNE APPLICATION HYDROBIOLOGIQUE DES METHODES D'ANALYSE DE SERIES CHRONOLOGIQUES

par

Germain BAUMANN et Jean-François PIERRE

### RESUME

**A** Analyse d'une série chronologique de températures de l'eau d'une station de la Moselle. Relation avec l'apparition exceptionnelle de fleurs d'eau en 1971 et intérêt de la méthode.

### SUMMARY

Time series analysis of water temperature from the Moselle river. Relations with abnormal proliferation of water blooms in 1971 and interest of the method.

Lors d'une précédente étude (PIERRE 1972) nous avons montré que la floraison exceptionnelle d'Algues vertes (*Cladophora* ssp.) apparue dans la Moselle en mai et juin 1971 pouvait résulter de la convergence, au cours de cette période, de plusieurs facteurs favorables, notamment climatiques. Si l'on pouvait admettre que la température rendait compte de l'évolution de l'ensemble de ces facteurs, l'interprétation des courbes thermiques restait néanmoins subjective.

Grâce à l'obligeance de la Direction de la Centrale Sidérurgique de Richemont (Département de la Moselle), nous avons pu disposer des relevés journaliers de la température de l'eau de la rivière Moselle au cours des années 1968 à 1972, mesurée au droit de la prise d'eau de la centrale. A partir de ces documents, nous avons recherché un traitement mathématique de l'information susceptible de donner une interprétation objective de l'influence du facteur température sur la formation de fleurs d'eau à *Cladophora* dans la Moselle et, dans le cas où ce facteur révélerait une périodicité, d'en définir la fréquence.

\*

\*\*

Analysons les températures de l'eau, relevées journallement, en remplaçant les courbes de température par une fonction  $f(\omega)$  telle que (BAUMANN 1971, 73) :

---

Note présentée à la séance du 14 février 1974.

$f(\omega)$  ait un sens mathématique

$f(\omega)$  représente bien les variations des courbes de température  $x_t$

$f(\omega)$  n'introduise pas de propriétés nouvelles.

Ce résultat peut être obtenu par l'utilisation des transformées de FOURIER.

Le spectre de fréquence  $S(\omega)$ , tel que

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_t \cdot e^{i\omega t} dt$$

avec la transformation inverse

$$x_t = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi} \int_{-T}^{+T} S(\omega) \cdot e^{-i\omega t} d\omega$$

peut alors traduire l'ensemble des informations à tirer de  $x_t$ .

La densité du spectre  $\varphi(\omega)$ , telle que

$$\varphi(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(T) e^{-i\omega t} dt$$

avec la transformation inverse

$$C(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\omega) e^{i\omega \tau} d\omega$$

peut alors traduire les propriétés locales tout le long de la série  $x_t$ , donc peut nous donner des informations intéressantes sur le phénomène étudié.

Dans cette relation  $C(\tau)$  représente la fonction d'autocorrélation et on a :

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^{+T} x(t) x(t + \tau) dt$$

donc

$$C(\tau) = E [x(t) x(t + \tau)] \quad (\text{espérance mathématique})$$

Cependant il ne faut pas confondre  $C(\tau)$  avec la fonction d'autocorrélation en temps  $\varphi(\tau)$  telle que

$$\varphi(\tau) = \langle x(t)x(t + \tau) \rangle$$

C'est seulement dans le cas particulier d'une série de températures stationnaire que nous aurons égalité entre ces deux grandeurs, à savoir :

$$E [ x ( t ) x ( t + \tau ) ] = \langle x ( t ) x ( t + \tau ) \rangle$$

Ceci est nettement le cas lorsque la relation

$$C (\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{\lambda}^{\lambda + T} x ( t ) x ( t + \tau ) d t$$

ne dépend pas du paramètre  $\lambda$ .

Cependant, comme on ne connaît la série  $x t$  que pour un intervalle de temps limité donc fini ( $- T, \tau$ ) on ne peut donc définir que le spectre de puissance  $S_T (\omega)$  tel que :

$$S_T (\omega) = \int_{-T}^T x ( t ) e^{i\omega t} dt$$

et passer au spectre de puissance par passage aux limites :

$$S (\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} S_T (\omega)$$

Il en est de même pour la densité de spectre  $\varphi (\omega)$  qu'on ne peut calculer que par passage aux limites par :

$$\varphi (\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2 T} (S_T (\omega))^2$$

Cependant on ne peut définir  $\varphi (\omega)$  que si la transformation inverse :

$$C (\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi (\omega) e^{i\omega\tau} d \omega \quad \text{a un sens mathématique.}$$

Il faut donc que  $\varphi (\omega)$  remplisse les conditions suivantes :

$\varphi (\omega)$  doit être une fonction positive

$\varphi (\omega)$  doit être une fonction paire.

Cette remarque facilite le calcul de  $\varphi (\omega)$  qui peut alors s'écrire :

$$\varphi (\omega) = 2 \int_0^{\infty} C (T) \cos (\omega T) d T$$

Mais comme la série des températures n'est pas infinie, nous ne pouvons pas calculer  $\varphi (\omega)$  mais seulement en avoir une estimation  $g (\omega_j)$  telle que :

$$g(\omega_j) = \lambda_0(\omega_j) C_0 + 2 \sum_{\tau=1}^m \left( \frac{1}{n-\tau} C\tau \lambda\tau(\omega_j) \cos(\omega_j \tau) \right)$$

avec :

$n$  : longueur de la série

$m$  : nombre de bandes à estimer

$\lambda\tau(\omega_j)$  : coefficient statistique faisant fonction de filtre

$$C\tau = \sum_{t=1}^{N-\tau} (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x})$$

avec  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$ , valeur moyenne de  $x_t$ . L'introduction de  $\bar{x}$  permet d'obtenir pour  $\varphi(\omega)$  une intégrale qui reste définie assez longtemps.

Nous avons effectué le calcul sur ordinateur UNIVAC 1108. Nous avons utilisé  $m = 24$  intervalles de fréquence et un filtre  $\lambda_T(\omega)$  tel que

$$\lambda_T(\omega) = \left[ 1 - 6 \left( \frac{T}{m} \right)^2 \right] \text{ pour } 1 \leq T \leq \frac{m}{2}$$

$$\text{et } \lambda_T(\omega) = 2 \left( 1 - \frac{T}{m} \right)^3 \text{ pour } T > \frac{m}{2} \text{ (BARTLET 1955)}$$

Ainsi les relations précédentes s'écrivent :

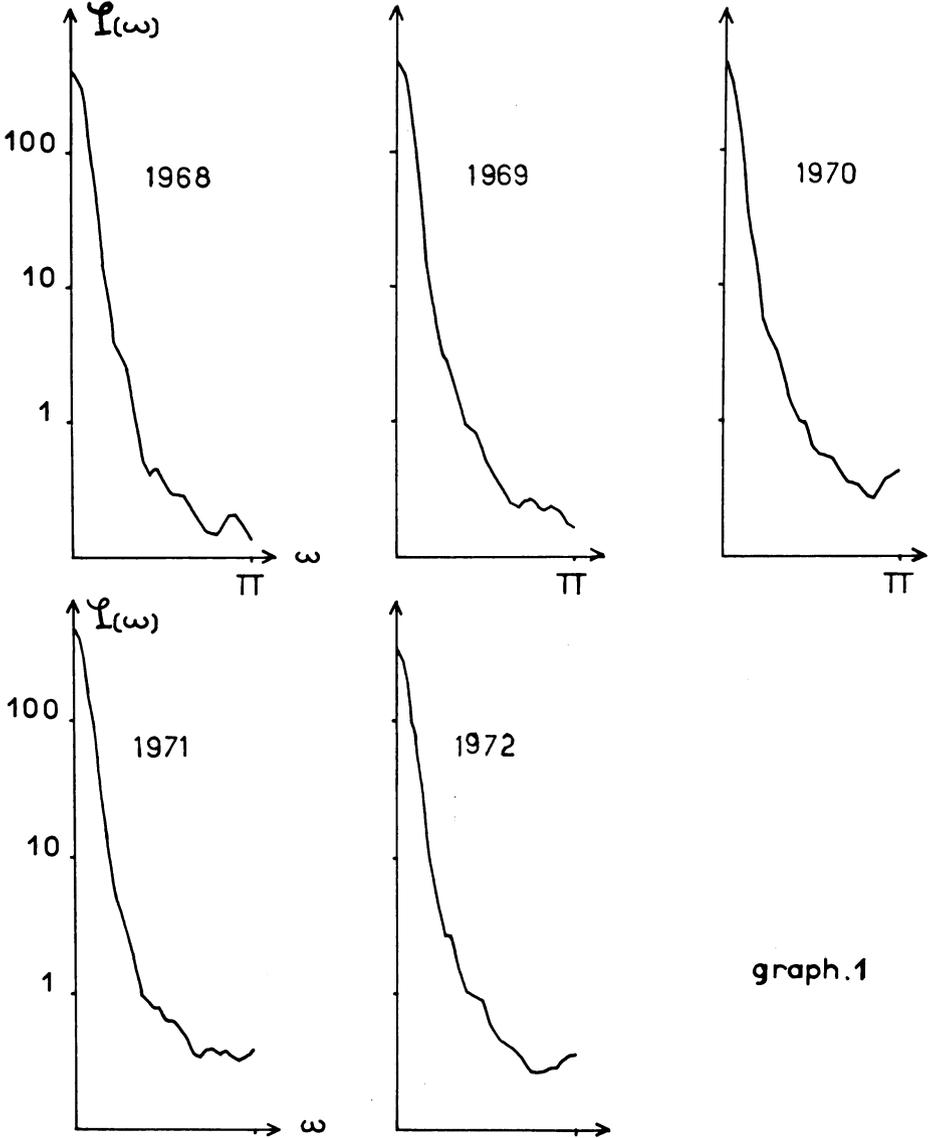
$$\varphi(\omega) = C_0 + 2 \sum_{\tau=1}^m \left( 1 - 6 \left( \frac{T^2}{m^2} \right) \right) \left( 1 - \frac{T}{m} \right) C_T \cos$$

$$\left( \frac{k\pi}{m} T \right) + 2 \sum_{T = \frac{m}{2} + 1}^m 2 \left( 1 - \frac{T}{m} \right)^3 C_T \cos \left( \frac{k\pi}{m} T \right)$$

et peuvent facilement être calculées sur ordinateur.

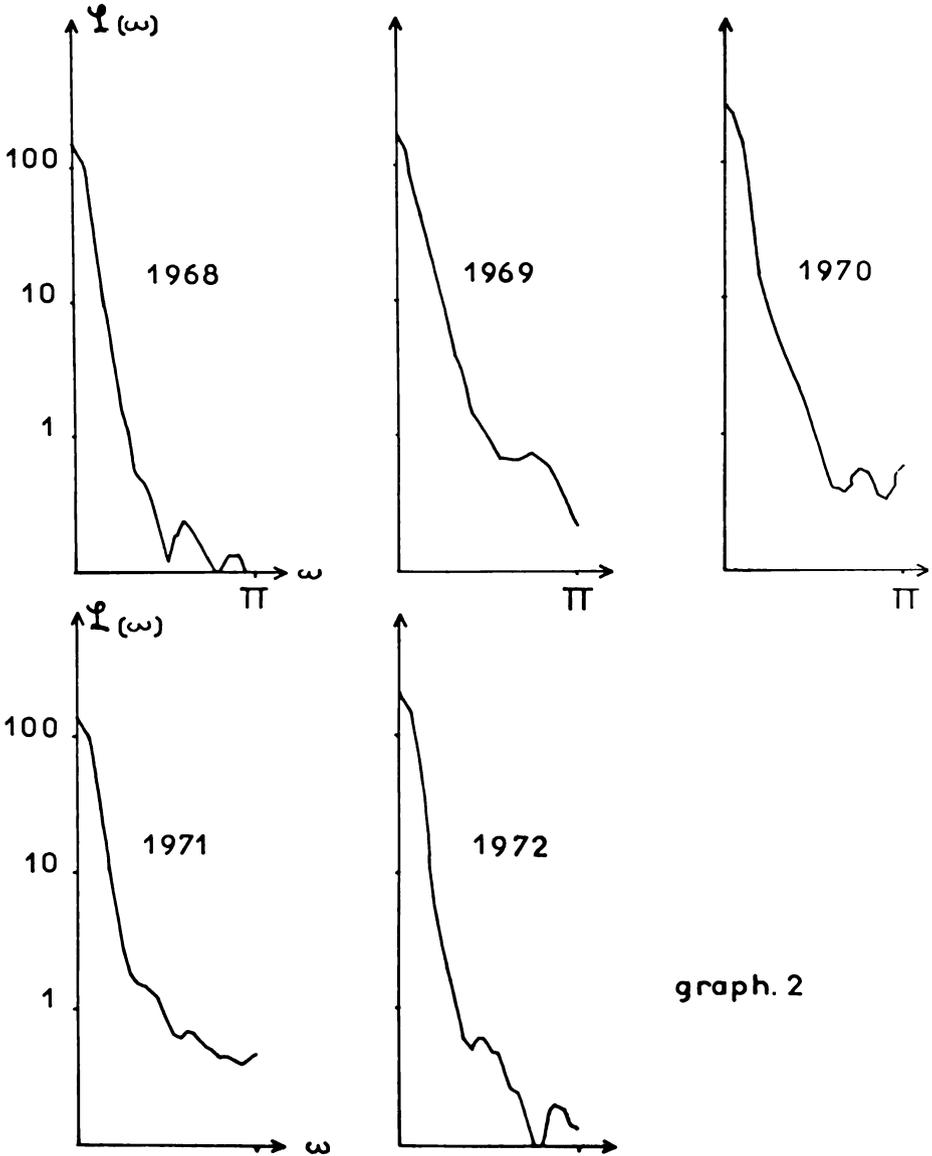
Nous avons effectué le calcul, puis remplacé les valeurs numériques par le tracé des courbes correspondantes pour les années 1968

à 1972, avec  $n = 365$  (graph. 1) ainsi que pour des périodes plus limitées correspondant à l'apparition des fleurs d'eau, c'est-à-dire respectivement les mois d'avril à juillet 1968 à 1972 (graph. 2) avec  $n = 122$ , et avril à juin des mêmes années, avec  $n = 91$  (graph. 3).

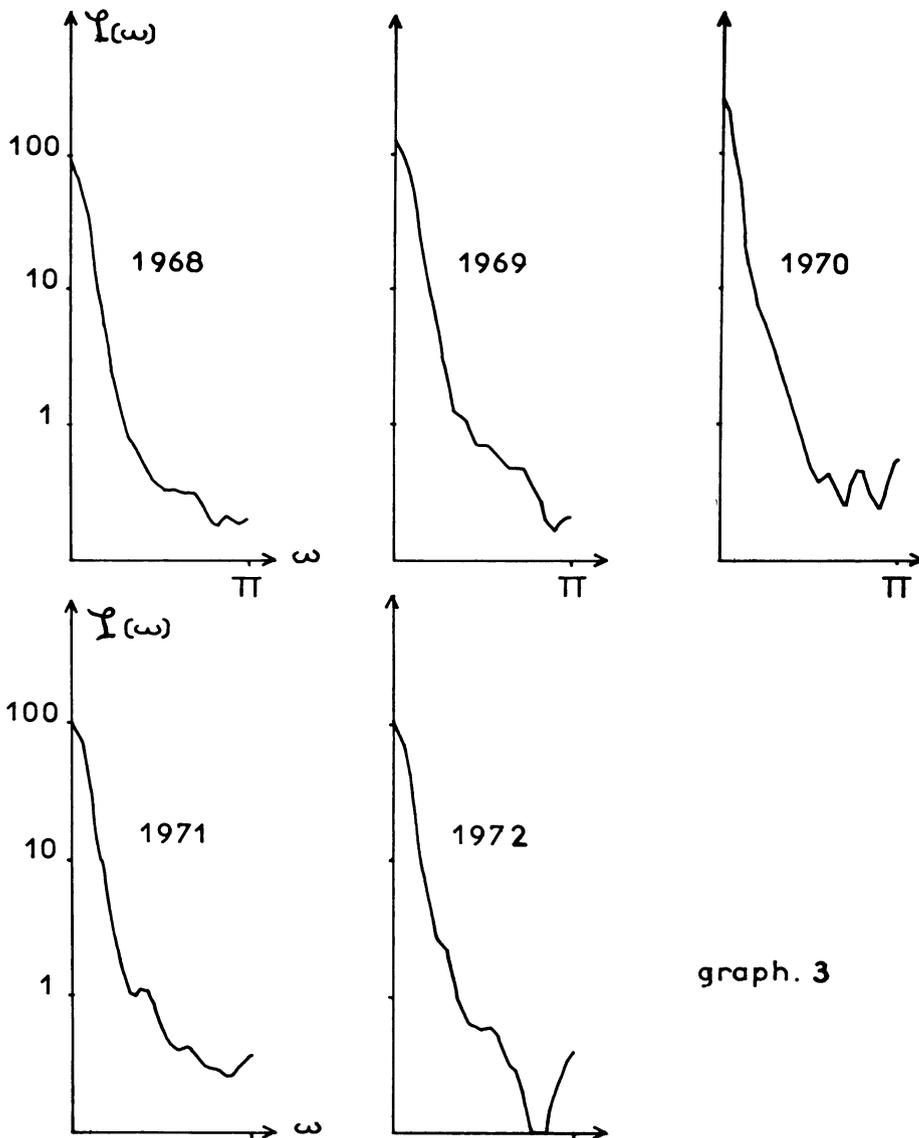


graph.1

La régularité des courbes et l'absence de pics caractéristiques d'une fréquence préférentielle d'une température donnée, révèlent la



graph. 2



graph. 3

non-coïncidence entre l'évolution des températures de l'eau de Moselle au cours des années 1968 à 1972 et l'apparition des fleurs d'eau à *Cladophora* en 1971. Cette floraison, dans le cas particulier de la station étudiée, traduirait la résultante d'un phénomène apériodique dont le facteur température ne peut à lui seul être tenu pour responsable.

L'existence constatée des fleurs d'eau dans cette station de la Moselle, et leur réapparition éventuelle, apparaissent bien comme une manifestation non directement liée à l'évolution de la température et susceptible seulement de se reproduire si l'ensemble des conditions physiques, chimiques et climatiques favorables à l'explosion algale se trouve à nouveau réalisé.

Les possibilités offertes par les méthodes d'analyses de séries chronologiques n'ont fait l'objet, jusqu'à présent, que de rares applications dans le domaine de l'hydrobiologie (FULLER et TSOKOS 1971), mais se révèlent cependant prometteuses : l'analyse spectrale est capable de mettre en évidence une périodicité éventuelle d'un phénomène échappant à l'examen direct. Il faut également remarquer qu'une tendance actuelle consiste à faire appel, pour la surveillance et le contrôle des eaux, à des appareillages automatiques enregistrant à des intervalles rapprochés, égaux ou inférieurs à la journée, la valeur instantanée de différents facteurs physiques ou chimiques du milieu aquatique. Il en résulte une masse d'informations dont la manipulation classique ne livre bien souvent qu'un aspect imprécis, voire subjectif. L'analyse de ces séries chronologiques est un mode de traitement de l'information convenant particulièrement bien pour l'exploitation de ces données, permettant la mise en évidence de phénomènes cycliques non directement apparents et facilitant ainsi l'interprétation du rôle joué par les différents facteurs naturels ou artificiels intervenant dans l'équilibre biologique des formations aquatiques.

Université de NANCY I  
Case Officielle 140  
54037 NANCY CEDEX

#### BIBLIOGRAPHIE

- BARTLET M.J. — 1955. An introduction to stochastic processes. *Cambridge Univ. Press*.
- BAUMANN G. — 1971. Solution analytique d'un modèle économétrique. *Rev. statist. appl.*, XIX, p. 67 et suiv.
- BAUMANN G. — 1973. Analyse spectrale d'une série chronologique simulée. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sc.*, 12, 2, 141-58.
- FULLER F.C., TSOKOS C.P. — 1971. Time series analysis of water pollution data. *Biometrics*, U.S.A., 27, 4, 1017-34.
- PIERRE J.F. — 1972. Sur un problème de colmatage de prises d'eau par des Algues. *Techn. Eau*, Belg., 303, 36-40.

## DICHOÏSME CIRCULAIRE MAGNETIQUE

Application à l'étude de substances d'intérêt biologique. \*

M. GABRIEL et D. LARCHER

A. Technique expérimentale récente, le dichroïsme circulaire magnétique se montre très prometteur pour l'étude de substances d'intérêt biologique. Il permet notamment l'étude quantitative des résidus tryptophanes des protéines et la détermination de la symétrie de la sphère de coordination du site actif des métallo-enzymes.

### I. — INTRODUCTION

Le dichroïsme circulaire magnétique (DCM) permet de résoudre certains problèmes de structure et de stéréochimie de molécules optiquement inactives dans les conditions normales.

Le DCM des substances organiques ne fournit qu'un renseignement global, souvent peu sensible aux petites différences de conformation. Par contre, il donne des renseignements sur la symétrie de la molécule et l'assignation des niveaux qui en dépendent.

Le dichroïsme circulaire magnétique est la différence d'absorption, présentée par un échantillon soumis à un champ magnétique, de deux vibrations lumineuses polarisées circulairement droite et gauche, lorsque la lumière se propage parallèlement au champ magnétique  $H$ . Le DCM est proportionnel à  $H$ . Pour obtenir un champ intense, le solénoïde supraconducteur remplace l'électro-aimant et l'aimant permanent. L'absorption dichroïque magnétique peut être représentée par les mêmes formules que le dichroïsme naturel, en les ramenant à l'unité de champ (GAB 71).

#### 1. Activité optique naturelle et activité optique magnétique

Pour être optiquement active, une molécule doit posséder un chromophore soit asymétrique, soit placé dans un environnement asymétrique. Le dichroïsme circulaire naturel (DC) reflète l'asymétrie de cet environnement. Ce n'est pas le cas de l'activité optique induite magnétiquement. En effet, le champ perturbant  $H$  est externe à la molécule et ne provient pas de la position relative des atomes

\* Note présentée à la séance du 14 février 1974, transmise par M. PIERRET.

constituant la molécule. En première approximation, le DCM n'est pas sensible à de petites modifications de la structure moléculaire (McC 71).

## 2. Théorie simplifiée du DCM

Dans le cas d'un triplet normal, le phénomène présente deux raies circulaires, gauche et droite, pour une observation longitudinale, ou trois vibrations rectilignes pour une observation perpendiculaire à H (figure 1).

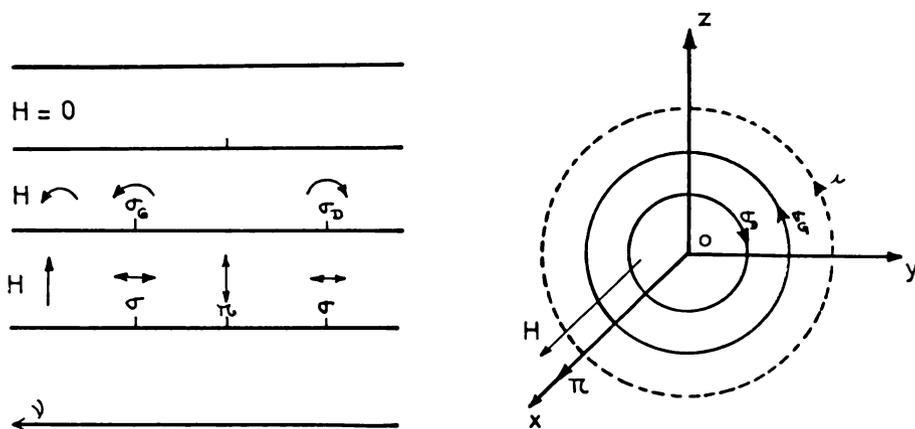


Fig. 1

La symétrie de ce phénomène est celle de H qui, dirigé le long de  $Ox$ , possède une symétrie circulaire dans le plan  $yOz$ . Dans l'espace, la symétrie est hélicoïdale, d'axe  $Ox$ . En observation longitudinale, les deux vibrations circulaires donnent chacune une bande d'absorption. La mesure de l'absorption différentielle conduit à celle du DCM.

### — Présence de trois types de termes

Supposons qu'un système atomique possède deux niveaux [état fondamental (f), état excité (e)], et qu'une transition électronique est

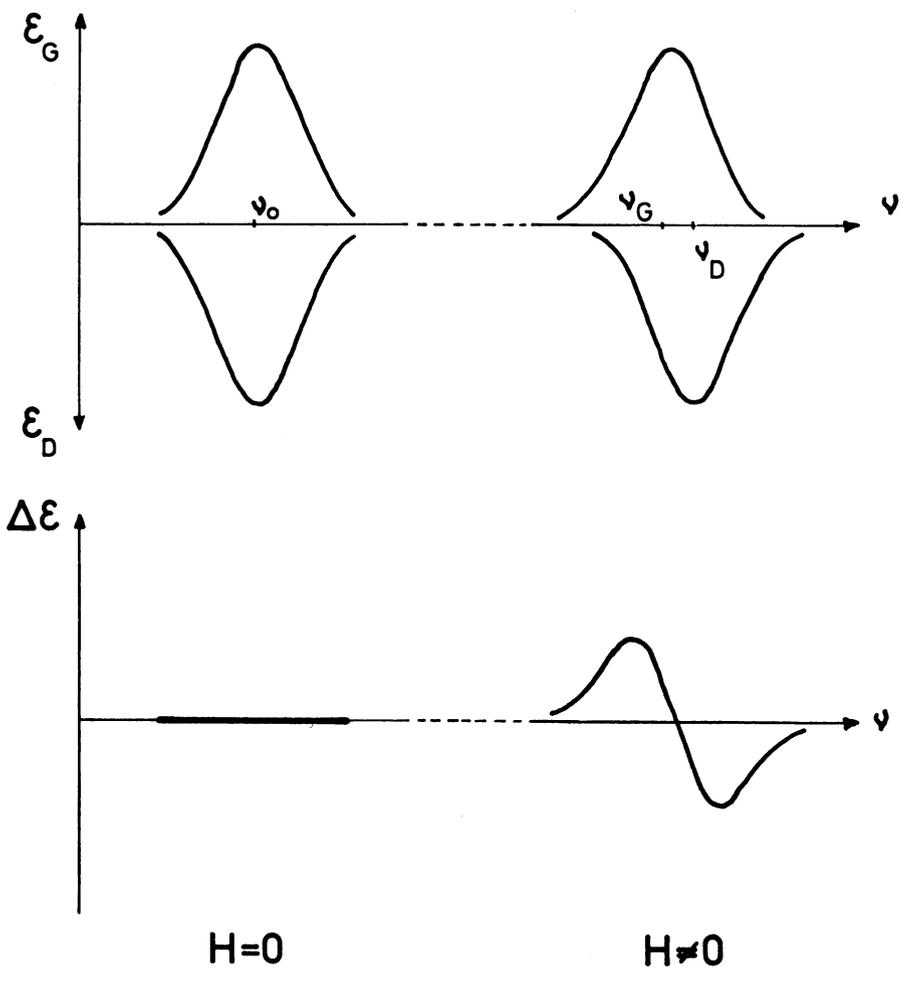
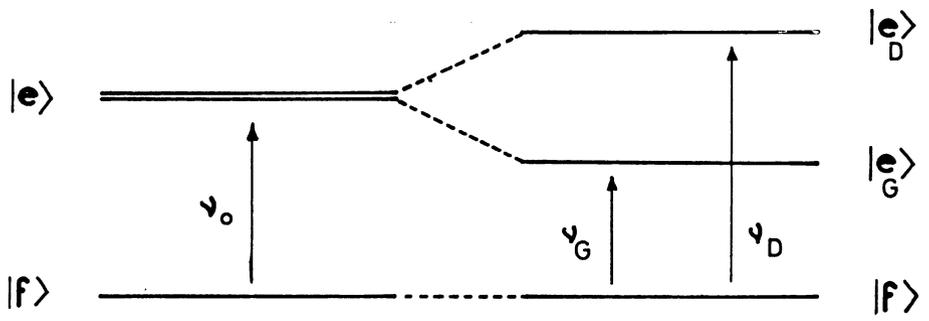


Fig. 2

possible entre les deux états à la fréquence  $\nu_0$ , le coefficient d'absorption est une fonction de la fréquence  $\nu$

$$\varepsilon = \varepsilon_m f(\nu)$$

$\varepsilon$  est proportionnel à la probabilité de transition et à la population de l'état fondamental.

Observons l'action du champ magnétique dans trois cas simples.

a) H lève la dégénérescence de l'état excité.

Deux transitions polarisées circulairement ont lieu à des fréquences ( $\nu_G$  et  $\nu_D$ ) décalées. Un dichroïsme  $\Delta\varepsilon$ , proportionnel à la dérivée de l'absorption, définit un terme A :

$$\Delta\varepsilon_a = \varepsilon_m a \frac{df(\nu)}{d\nu} \text{ (figure 2).}$$

b) H lève la dégénérescence de l'état fondamental. A l'effet précédent s'ajoute celui dû à la différence de population entre les différents sous-niveaux (terme C). Il varie avec la température, et le DCM qu'il provoque a la forme de la courbe d'absorption :

$$\Delta\varepsilon_c = \varepsilon_m \left( \frac{C}{KT} \right) f(\nu) \text{ (figure 3).}$$

Si d'autres états ( $k$ ), non impliqués dans la transition, sont proches des niveaux fondamental et (ou) excités, le champ H les mélange (figure 4). Un troisième effet (terme B), qui a la forme de la courbe d'absorption apparaît.

$$\Delta\varepsilon_b = \varepsilon_m b f(\nu)$$

Dans le cas général :

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_m \left( a \frac{df}{d\nu} + (b + C/KT) f \right).$$

$\Delta\varepsilon$  est une combinaison linéaire de la courbe d'absorption et de sa dérivée première. Les termes  $\Delta\varepsilon_b$  et  $\Delta\varepsilon_c$  dépendent de la même façon de la fréquence ; ils ne peuvent être séparés que par des mesures à basse température (SCH 69).

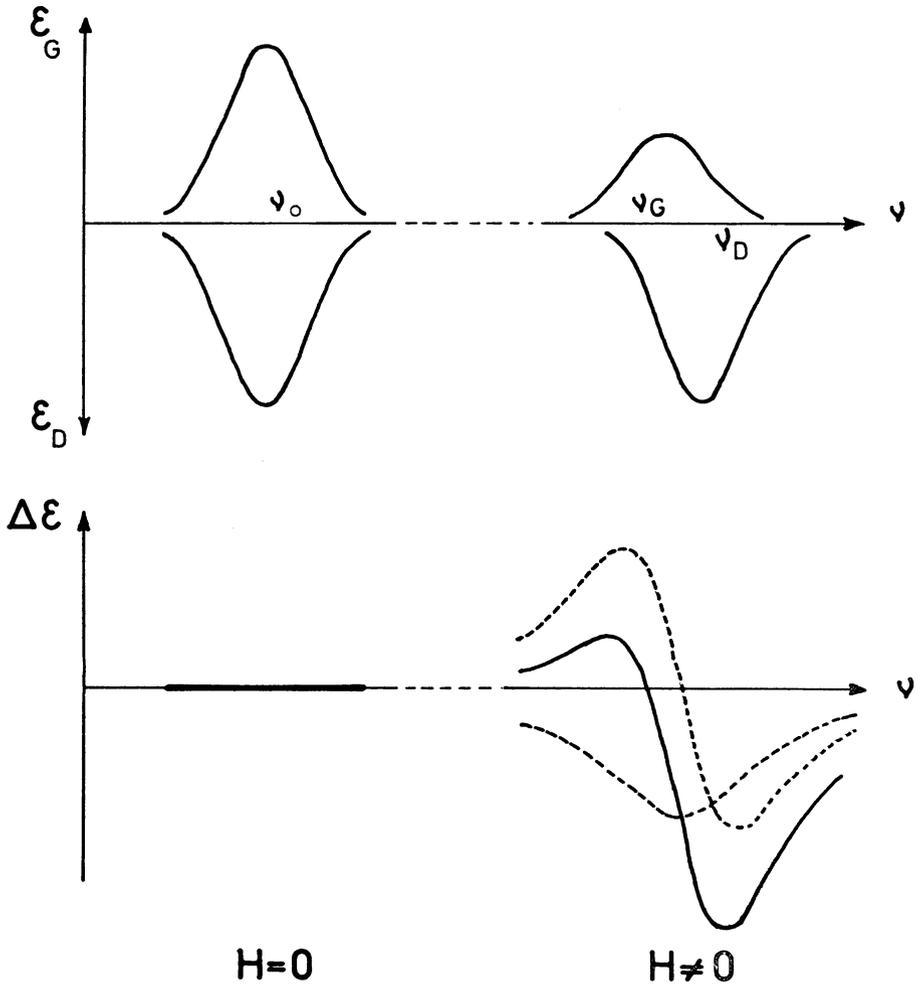
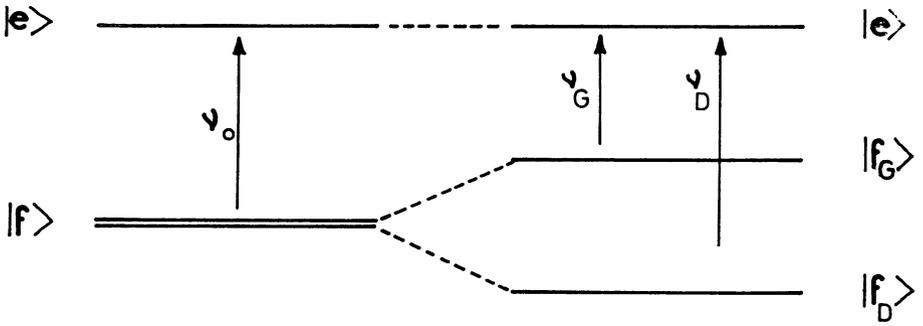


Fig 3

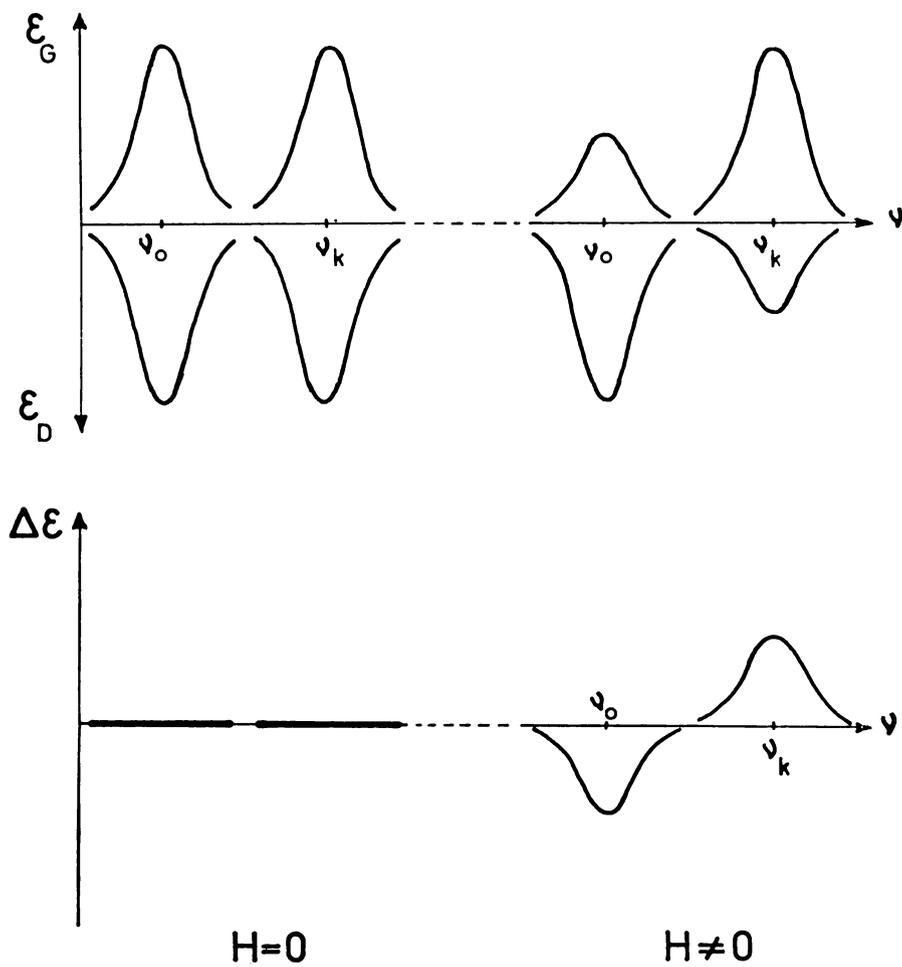
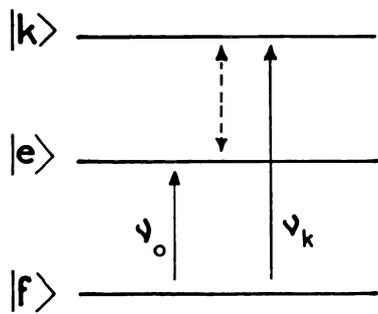


Fig 4

## II. — ETUDE DE SUBSTANCES BIOLOGIQUES NON METALLIQUES

De nombreuses protéines furent initialement étudiées par dispersion rotatoire magnéto-optique (SHA 69). Le DCM lui est préféré car l'extraction des paramètres moléculaires est plus facile et souvent de simples études qualitatives donnent des renseignements utiles (DJE 71).

### 1. *Détermination du nombre de résidus tryptophanes dans les protéines*

Le DCM, insensible à l'environnement, est une technique analytique de choix. La destruction du tryptophane (TRY), en milieu très acide, interdit son analyse quantitative par chromatographie au contraire des autres acides aminés comme la tyrosine (TYR).

D'autres méthodes, soit colorimétriques, soit spectrophotométriques, sont alors nécessaires. La plus connue est la méthode d'Edelhoch (EDE 67), mais elle est incertaine dans le cas d'un grand rapport TYR/TRY ou en présence de cystine.

Des méthodes empiriques proposent des améliorations (ZAH 73).

Vers 290 nm, le tryptophane à pH 7 possède un DCM positif intense, alors que la tyrosine ne possède qu'une nappe négative vers 280 nm et un effet négligeable à 290 nm (GAB 73). A ce pH, les autres amino-acides interviennent très peu (GAB 71).

A pH 13, un effet hyperchrome et bathochrome se manifeste pour la tyrosine, alors que le DCM du tryptophane est insensible à la valeur du pH (figure 5).

Cette propriété est utilisée pour déterminer soit le nombre absolu de TRY, soit le rapport TYR/TRY, si la masse molaire est inconnue. En fait, des contributions relativement faibles peuvent intervenir en présence de phénylalanine et de cystéine. Elles peuvent être négligées en première approximation (GAB 71).

L'approche sur ordinateur du spectre DCM d'une hémocyanine par une somme des spectres de TYR et TRY a permis de déterminer que le rapport TYR/TRY est égal à 2,5 (GAB 71, 72). D'autres méthodes d'extraction du nombre de TRY des spectres DCM ont été données. Plusieurs équipes utilisent l'amplitude de la bande à

$[\theta]_M 10^{-4}$

$10^{-4} [\theta]_M$

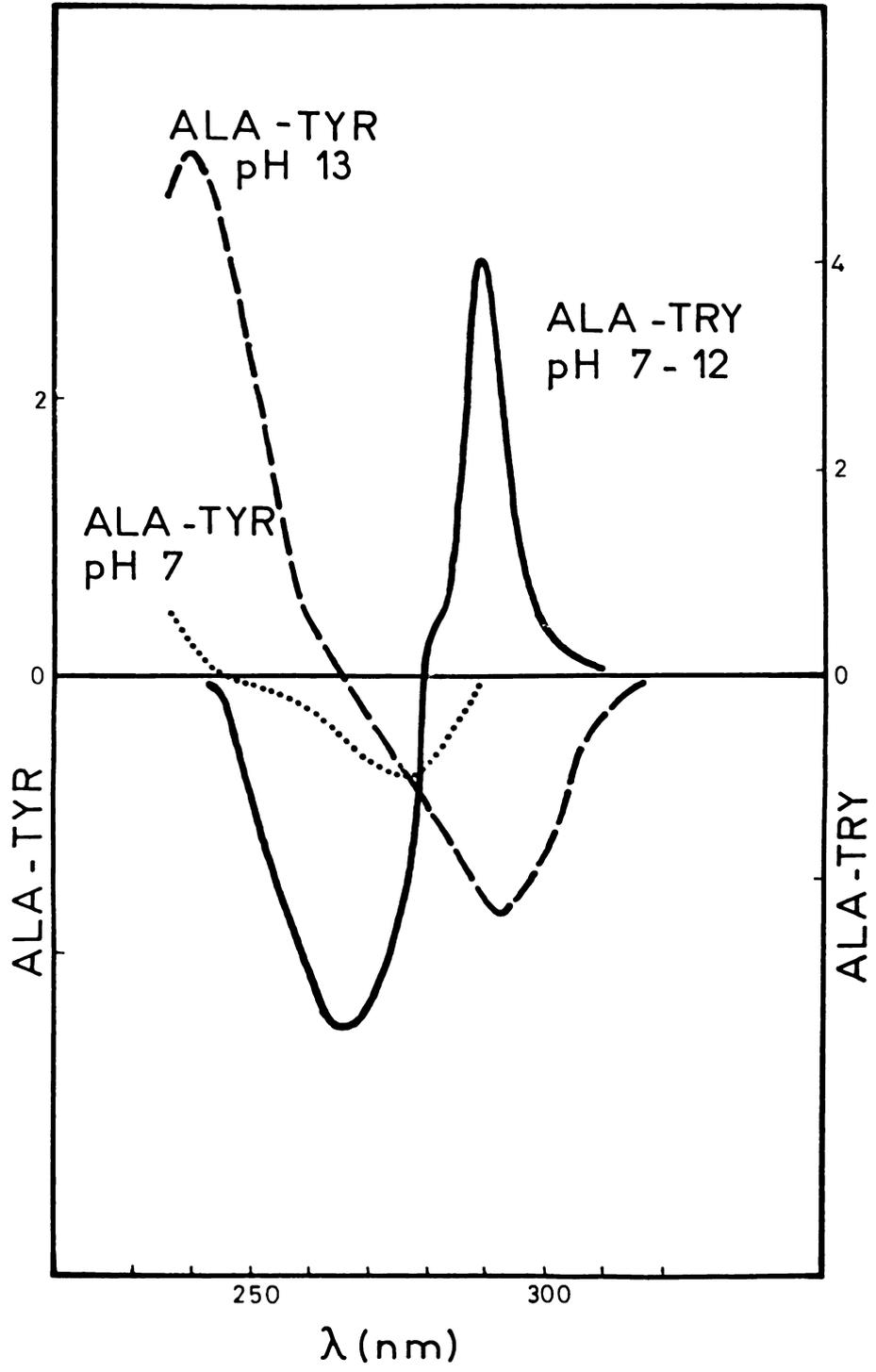


Fig 5

290 nm (BAR 72 a, McF 72, HOL 73) ou le déplacement vers les grandes longueurs d'onde de la nappe négative de la TYR à pH basique. Elle se situe alors dans la même région que la bande positive du TRY (BAR 72 b).

L'utilisation simultanée de ces différentes méthodes permet une détermination plus précise. La figure 6 présente les spectres de DCM que nous avons approchés pour la sérumalbumine humaine (SAH). Les nombres de résidus déduits pour TYR et TRY sont respectivement 15,7 et 1,2 par molécule. La littérature donne habituellement 16 et 1.

Cette détermination ne dépend pas de la valeur du champ magnétique utilisé ou de l'état de dénaturation de la protéine (McF 72).

Une comparaison de leurs résultats avec les valeurs habituellement retenues montre que le DCM est plus précis que les autres méthodes, et surtout peut être utilisé sans aucune altération de la molécule.

## **2. Etude de la riboflavine et de ses analogues**

Le chromophore qui intervient possède un axe de symétrie d'ordre deux. Le spectre DCM ne montre que des termes B et apporte trois conclusions (TOL 68).

— Mise en évidence d'une transition, masquée dans le spectre d'absorption, mais prédite par la théorie.

— Polarisation de transition différente aux grandes longueurs d'onde pour une solution basique ou neutre.

— Détermination de la position de l'azote qui se protone dans la flavine par comparaison avec le spectre de DCM d'une substance modèle.

## **3. DCM des bases purines et pyrimidine et des nucléosides dérivés**

Les différentes publications sur ce sujet montrent que le DCM de la purine et de ses dérivés est intense. Il permet donc de mieux résoudre les différentes transitions présentes que le DC et l'absorption. Pour les dérivés de la pyrimidine, le spectre DCM est au contraire très faible. Le DCM peut donc déceler de faibles quantités de nucléosides de la purine en présence de la pyrimidine (VOE 68, 69, ELD 70, DJE 71). Townsend et coll. ont étudié les dérivés N-méthyl de la purine et ont montré que ces composés, qui présentent des spec-

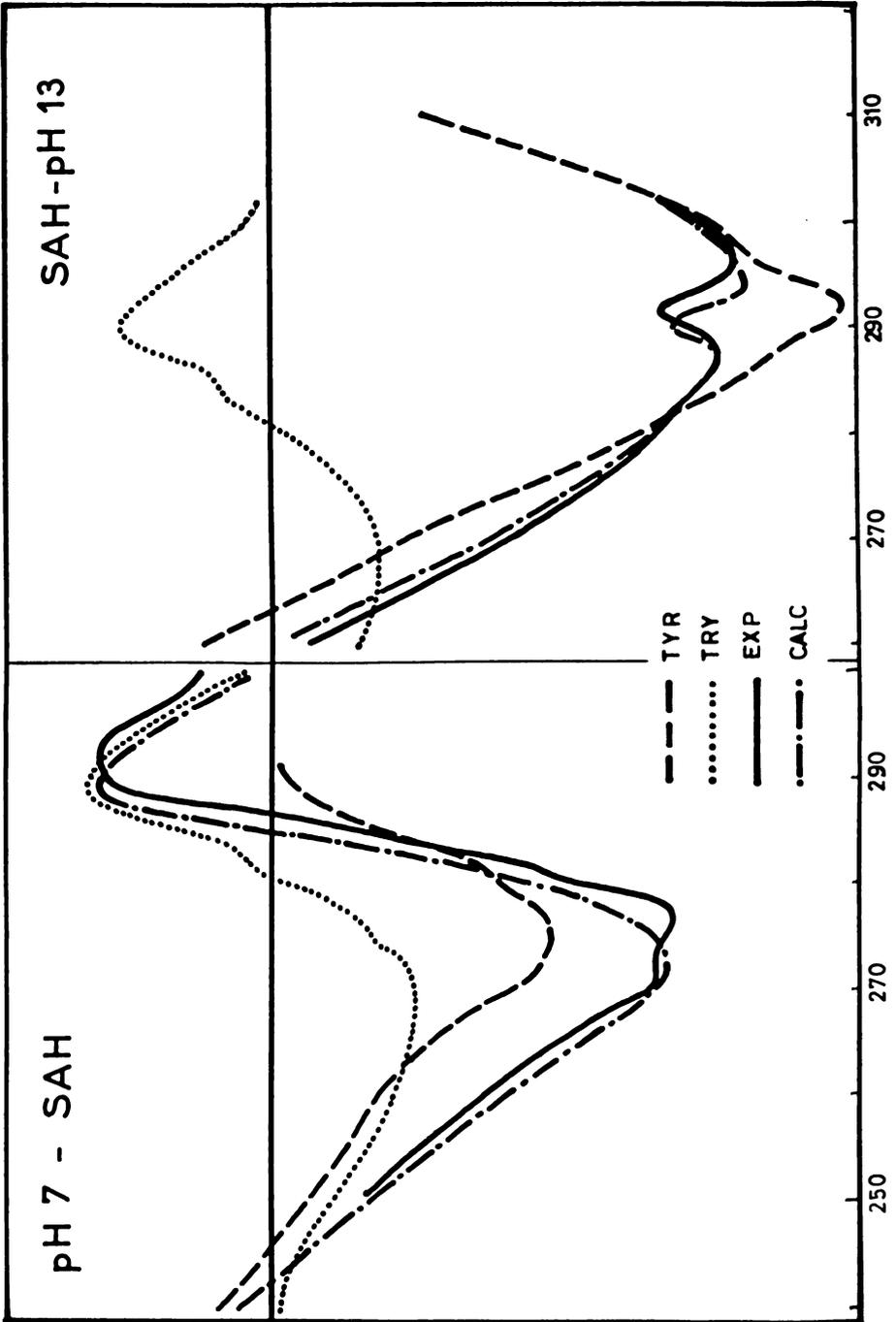


Fig. 6

tres DCM similaires à ceux obtenus pour les nucléosides correspondants, peuvent être utilisés comme modèles (MIL 72, TOW 73).

#### 4. Etude de la liaison de l'adénine au glutamate deshydrogénase

L'utilisation simultanée du DC et du DCM a permis de montrer que la nicotinamide-adénine dinucléotide (NADH) est liée à deux sites de natures différentes (JAL 73) : un site actif, qui fixe également la nicotinamide-adénine dinucléotide phosphate (NADPH), et un site régulateur, qui fixe l'adénosine 5' diphosphate (ADP). Une forte interaction de l'adénine avec un résidu TRY est mise en évidence.

### III. — ETUDES D'HEMOPROTEINES

Le cycle tétrapyrrolique présente un effet DCM intense et caractéristique. L'étude des porphyrines a fait l'objet de nombreux travaux (BAR 73 et ses références). C'est ce chromophore qui va intervenir dans le spectre des hémoprotéines.

#### Vitamine B<sub>12</sub>

Une étude de 14 dérivés (avec Co, Zn et Ni comme atome central) révèle, grâce aux différents signes des termes B, certaines transitions électroniques (BRI 69). En particulier pour les complexes du nickel, deux bandes non résolues en absorption sont détectées vers 400 et 460 nm dans le spectre DCM.

#### Cytochromes

Le DCM est insensible à l'environnement d'un chromophore, tant qu'il ne modifie pas les niveaux d'énergie. Ceci est illustré dans l'étude du cytochrome c et de ses hèmes peptidiques. En effet, la grande modification de conformation due à la présence de la chaîne polypeptidique est décelée par le dichroïsme naturel.

Au contraire, le spectre DCM observé pour le cytochrome c natif est identique à celui que l'on obtient pour l'hème peptidique. Par contre, si ce dernier est choisi de telle sorte qu'il permette le remplacement du ligand soufre de la méthionine par l'atome d'azote d'un imidazole, alors les spectres d'absorption et de DCM sont différents en amplitude et longueurs d'onde (RIS 73).

Une autre étude montre que le DCM de cytochromes oxydés possède trois composantes C dans la bande de Soret et que les orbitales  $d$  de l'ion ferrique se mélangent aux orbitales  $\pi$  de l'hème. Le DCM facilite ainsi la recherche de la nature du sixième ligand (BRI 72). Enfin, de nombreuses études ont montré que le spectre DCM de cytochrome  $c$  est très différent suivant qu'il est à l'état réduit ou oxydé (SUT 72a).

### Chlorophylles

Le DCM du cycle tétrapyrrolique permet la comparaison entre les pigments chlorophylliens *in vivo* et les chlorophylles  $a + b$ . En particulier, on en déduit le rapport des concentrations chlorophylles/cytochromes intrachloroplastiques. De plus, en étudiant des chlorophylles dans différents solvants, on peut atteindre par comparaison leur état d'agrégation (BRE 72).

### Myoglobine

Bolard et Garnier étudient par DCM la linéarité de la liaison fer-ligand. La présence de termes A pour MbNO et MetMbCN indique une symétrie  $C_{4v}$ , alors que son absence (B ou C prédominants) pour MbCO, MbO<sub>2</sub>, MetMbNO et MetMbN<sub>3</sub><sup>-</sup> suppose une symétrie  $C_{2v}$  (BOL 72).

## IV. — ETUDE DES CHROMOPROTEINES NON PORPHYRINIQUES

### 1. Protéines contenant du fer

Dès 1969, MARLBOROUGH et coll. (MAR 69) étudient la ferrédoxine d'épinard par dispersion rotatoire magnétique. Ils notent des différences entre les spectres des formes réduite et oxydée, qui impliquent des modifications du site actif lors de la réduction.

Cette étude est reprise en 1972 par DCM (SUT 72b). Les auteurs montrent l'intérêt du DCM comme technique complémentaire du dichroïsme circulaire naturel, pour l'étude des systèmes comportant plusieurs chromophores absorbant dans la même région (ici transition de transfert de charge entre Fe et S et présence de TRY et TYR).

L'étude de la xanthine-oxydase par BAYER et coll. (BAY 71) a permis de séparer les transitions provenant du chromophore Fe - S

et du molybdène, en utilisant un complexe de ce métal comme modèle.

## **2. Etudes de protéines contenant du cuivre**

Nous avons étudié une hémocyanine de Crabe (GAB 72). La comparaison des spectres des formes natives, désoxydées et démétallisées permet la détermination du rapport TYR/TRY dans la zone aromatique et la mise en évidence de deux bandes DCM dues au cuivre, pour une longueur d'onde supérieure à 400 nm. Ces dernières sont fortement influencées par la présence de l'oxygène, confirmant le fait que l'oxygène transporté par l'hémocyanine est directement fixé à l'atome du cuivre. L'érythrocypréine bovine, étudiée par WESER et coll. (WES 71), contient du zinc en plus du cuivre comme la superoxyde-dismutase bovine, étudiée par ROTILLO et coll. (ROT 73). L'utilisation conjointe du DC et du DCM pour l'étude de l'érythrocypréine a permis de bien séparer chacune des transitions  $d-d$  du cuivre. Zn n'intervient pas dans les propriétés spectroscopiques de cette région du spectre.

## **3. Etude de protéines contenant des métaux tels que Zn et Mn**

Ces protéines ne possèdent aucune transition située dans la gamme des longueurs d'onde accessibles expérimentalement.

Le remplacement du métal par Co(II) conserve très souvent l'activité enzymatique.

Le centre actif est, de ce fait, très peu perturbé par ce changement. Or le cobalt est un métal qui convient parfaitement à des études spectroscopiques, du fait de la position de ses bandes d'absorption.

L'environnement autour de l'ion Co(II) peut être soit octaédrique, soit tétraédrique, soit une bipyramide trigonale. Le type de symétrie de la sphère de coordination va imposer l'énergie relative des orbitales du cobalt. Comme le DCM dépend étroitement de la répartition de ces états, il va renseigner sur la symétrie du centre actif. Les substances modèles de chacun de ces types de coordination présentent des spectres très différents (KAD 72). Beaucoup de Co(II) enzymes ont été étudiés par DCM ces deux dernières années (KAD 72, COL 72, ROT 73, TAY 73, KAD 73).

Par exemple, COLEMAN a montré que la géométrie moléculaire autour de l'ion cobalt est quasiment tétraédrique pour Co-carbonique-anhydrase (COL 72). Ce tétraèdre est distordu trigonalement pour la forme basique. Au contraire du DC le DCM n'est sensible qu'à des changements de la symétrie de la sphère de coordination, et non à des modifications structurales.

Il va donc permettre de vérifier si le site actif est perturbé lors de la fixation d'une substance ou d'une transformation quelconque de l'enzyme. Le DCM est également un support très apprécié pour l'assignation des diverses transitions du spectre, car il permet souvent une meilleure séparation de celles-ci et renseigne sur la force du champ de ligand (COL 72). Alors que l'étude par résonance paramagnétique électronique de *E. Coli* Co(II)-alcaline-phosphatase laissait prévoir une symétrie octaédrique légèrement déformée (KEN 72), le spectre DCM de ce même enzyme permet d'affirmer que la symétrie ne peut être que tétraédrique avec une légère distorsion.

**En conclusion,** le DCM se montre un outil précieux pour l'étude de substances d'intérêt biologique. Le nombre croissant de publications se rapportant à des métallo-enzymes le montre clairement. Le dichroïsme circulaire magnétique a plusieurs types d'applications en biologie.

1. Application analytique : détermination du nombre de résidus tryptophanes, si aucun autre chromophore n'intervient à 290 nm, ou détection de cytochrome réduit dans une préparation de chloroplastes.
2. Application spectroscopique : assignation possible des différentes bandes du spectre, due à une meilleure séparation des diverses transitions. C'est un test souvent sévère pour la théorie.
3. Application à l'étude de la structure des métallo-enzymes : le DCM est seulement dû à la séparation de Zeeman des états d'énergie intrinsèques des orbitales *d* du métal et, de ce fait, il va être le reflet de la géométrie du champ de ligands autour du métal et seulement de celle-ci, car il est insensible aux changements de conformation du reste de la protéine.

Laboratoire de Physique Expérimentale  
Case officielle 140, 54037 NANCY CEDEX

- BAR 72a BARTH G., VOELTER W., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — MCD spectra of proteins. A new method for the quantitative determination of TRY. *J. Am. Chem. Soc.* 94 (1972) 1293-1298.
- BAR 72b BARTH G., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — Determination of the TYR : TRY ratio in proteins *Anal. Biochem.* 48 (1972) 471-479.
- BAR 73 BARTH G., LINDER R.E., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — The MCD of porphyrins indications. *Ann. N.Y. Acad. Sc.* 206 (1973) 223-246.
- BAY 71 BAYER E., BACHER A., KRAUSS P., VOELTER W., BARTH G., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — Investigation of xantine oxidase : MCD studies. *Eur. J. Bioch.* 22 (1971) 580-584.
- BOL 72 BOLARD J., GARNIER A. — CD studies of myoglobin and cytoch. C derivations. *Bioch. Bioph. Acta* 263 (1972) 535-549.
- BRE 72 BRETON J., HILAIRE M. — Etude par DCM des pigments chlorophylliens et des cytochromes dans les lamelles chloroplastiques. *C. Rend. Acad. Sc. D* 274 (1972) p. 678-680.
- BRI 69 BRIAT B., DJERASSI C. — Etudes de dichroïsme circulaire magnétique : VII quelques dérivés de la vitamine B<sub>12</sub>. *Bull. Soc. Chim. Fr.* (1969) 135-146.
- BRI 72 BRIAT B., BERGER D., LELIBOUX M. — Low temperatures MCD of oxidized cytochromes. *J. Chem. Phys.* 57 (1972) 5606-5607.
- COL 72 COLEMAN J.E., COLEMAN R.V. — MCD of Co II Carbonic Anhydrase. *J. Biol. Chem.* 247 (1972) 4718-4728.
- DJE 71 DJERASSI C., BUNNENBERG E., ELDER D.L. — Organic chemical applications of MCD. *pure appl. Chem.* 25 (1971) 57-89.
- EDE 67 EDELHOCH H. — Spectroscopic determination of TRY and TYR in proteins *Bioch.* 6 (1967) 1948-1954.
- ELD 70 ELDER D.L., BUNNENBERG E., DJERASSI C., IKEHARA M., VOELTER W. — Adenosin - cyclonucleoside. *Tet. Lett.* 10 (1970) 727-730.
- GAB 71 GABRIEL M. — Application du DCM à l'étude d'acides aminés. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Nancy, juin 1971.
- GAB 72 GABRIEL M., GOBILLON D., LARCHER D., RINNERT H., THIRION C. — Etude de l'hémocyanine d'un crustacé décapode *carcinus maenas* par DC et DCM. *Experientia* 28 (1972) 1019-1020.
- GAB 73 GABRIEL M., LARCHER D., RINNERT H., THIRION C., GRANGE J. — DCM de la TYR et TRY : variation en fonction du pH. *C. Rend. Acad. Sc.* 276 B (1973) 39-41.
- HOL 73 HOLMQUIST B., VALLEE B.L. — TRY quantitation by MCD in native and modified proteins. *Biochem.* 12 (1973) 4409-4417.
- JAL 73 JALLON J.M., RISLER Y., SCHNEIDER C., THIERY J.M. — Adening binding to glutamate deshydrogenase : N and MCD studies. *FEBS Letters* 31 (1973) 251-255.
- KAD 72 KADEN T.A., HOMQUIST B., VALLEE B.L. — MCD of Co Metalloenzyme derivatives. *Bioch. Bioph. Res. com.* 46 (1972) 1654-1659.
- KAD 73 KADEN T.A. — MCD studies of the active site geometry in metalloenzymes in « metal ions in biological systems » vol. 4, p. 1. *M. Dekker Inc. N.Y.* (1973).

- KEN 72 KENNEDY F.S., HILL H.A.O., KADEN T.A., VALLEE B.L. — E.P.R. Spectra of some active Co II substituted metalloenzymes and other Co II complexes. *Bioch. Bioph. Res. com.* 48 (1972) 1533-1539.
- McC 71 Mc CAFFERY A.J. — New applications for MCD. *Nat. Phys. Sc.* 232 (1971) 137-140.
- McF 72 Mc FARLAND T.M., COLEMAN J.E. — MCD of tryptophanyl residues in proteins : azurin and carbonic anhydrases. *Eur. J. Bioch.* 29 (1972) 521-527.
- MAR 69 MARLBOROUGH D.I., HALL D.O., CAMMACK R. — Mord studies on spinach ferredoxin. *Bioch. Bioph. Res. Com.* 35 (1969) 410-413.
- MIL 72 MILES D.W., INSKEEP W.H., TOWNSEND L.B., EYRING H. — Optical and conformational properties of the 7 (Beta - D. Ribofuranosyl) purines *Biopolymers* 11, (1972) 1181-1207.
- RIS 73 RISLER J.L., GROUDINSKY O. — MCD studies of cytochrome c and cytochrome b<sub>2</sub>. *Eur. J. Biochem.* 35 (1973) 201-205.
- ROT 73 ROTILIO G., GALABRESSE L., COLEMAN J.E. — MCD of Co — Cu and Zn — Co Bovine Superoxide Dismutase. *J. Biol. Chem.* 248 (1973) 3855-3859.
- SCH 69 SCHATZ P.N., Mc CAFFERY A.J. — The Faraday effect. *Quart. Rev.*, 23 (1969) 552-584.
- SHA 69 SHASHOUA V.E. — Magneto Optical Rotation Spectroscopy and its application to studies of biological molecules. *Sym. Far. Soc.* 3 (1969) 61-69.
- SUT 72a SUTHERLAND J.C., KLEIN M.P. — MCD of cytochrome C. *J. Chem. Phys.* 57 (1972) 76-86.
- SUT 72b SUTHERLAND J.C., SALMEEN I., SUN A.S.K., KLEIN M.P. — Ferredoxin : the uses of N and MCD in a multi-chromophoric system. *Bioch. Bioph. Acta* 263 (1972) 550-554.
- TAY 73 TAYLOR J.S., LAU G.Y., APPLEBURY M.L., COLEMAN J.E. — Escherichia coli Co II Alkaline Phosphatase : ABS, CD and MCD of the d-d electronic transitions. *J. Biol. Chem.* 248 (1973) 17, 6216-6220.
- TOL 68 TOLLIN G. — MCD and CD of riboflavin and its analogs. *Biochem.* 7 (1968), 1720-1727.
- TOW 73 TOWNSEND L.B., MILES D.W., MANNING S.J., EYRING H. — MCD of the the N — methyl derivatives of purine. *J. Heterocycl. Chem.* 10 (1973) 419-422.
- VOE 68 VOELTER W., RECORDS R., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — Investigation of some purine pyrimidines and nucleosides. *J. Am. Chem. Soc.* 90 (1968) 6163-6170.
- VOE 69 VOELTER W., BARTH G., RECORDS R., BUNNENBERG E., DJERASSI C. — Investigation of some purine cyclonucleosides. *J. Am. Chem. Soc.* 91 (1969) 6165-6172.
- WES 71 WESSER V., BUNNENBERG E., CAMMACK R., DJERASSI C., FLOHE L., THOMAS G., VOELTER W. — A study on purified bovine erythrocyte. *Bioch. Bioph. Acta* 243 (1971) 203-213.
- ZAH 73 ZAHNLEY J.C., DAVIS J.G. — Effect of high TYR content on the determination of TRY in protein by the acidic nihydrin method. *Biochem. J.* 135 (1973) 59-61.

## OBSERVATIONS ULTRASTRUCTURALES DE LA BIODEGRADATION D'UNE ALGUE DANS UN ECOSYSTEME AQUATIQUE

par

Jean-François PIERRE, Gérard KILBERTUS et Otto REISINGER

### RESUME

**A** Les différents stades de la décomposition d'*Enteromorpha salina* Kütz. ont été suivis à l'aide des microscopes électroniques à transmission et à balayage.

*In situ*, le cytoplasme ainsi que la structure fibrillaire des parois disparaissent. La dégradation des parois est accompagnée par la production de granules denses aux électrons.

Les organismes prenant part à la décomposition sont les Algues, en particulier les Diatomées, et les Bactéries.

### SUMMARY

The various stades in the décomposition of *Enteromorpha salina* Kütz. were followed using scanning and transmission electron microscopes.

Under *in situ* condition, the cytoplasm and the cell walls fibrillar structure disappear. The deterioration of cell walls was accompanied by the production of electron dense granules. Algae (particularly diatoms) and bacteria compose the flora taking part in the decomposition.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die verschiedenen Etappen der Dekomposition von *Enteromorpha salina* Kütz. werden im Rasterelektronenmikroskop und im Durchstrahlungsmikroskop untersucht.

*In situ* sind die Zytoplasmatische Inhalt und Wandfibrillarstrukturen verschwunden. Der Abbau der Wände wird von Produktion von auf Elektronen dichten Granula begleitet.

Die bei der Dekomposition eingreifende Flora betrifft : Algen (insbesondere Diatomeen) und Bakterien.

Au cours d'études précédentes nous avons suivi à l'aide des microscopes électroniques, la biodégradation de litières de Brachypode, de racine de luzerne enfouie dans le sol, et de cellules fongiques mélanisées (KILBERTUS et al. 1973, 1974, REISINGER et KILBERTUS, 1974). Nous en avons retenu des idées générales qui ne sont ce-

---

Note présentée à la séance du 14 février 1974.

pendant pas directement applicables au milieu aquatique. C'est pourquoi, en une première étape, nous avons entrepris l'étude de la biodégradation d'une Algue.

Les eaux continentales renferment généralement une flore algale dont la biomasse est loin d'être négligeable. Si les conditions d'apparition et de développement de ces végétaux sont déjà bien connues, il n'en est pas de même de leur décomposition.

Afin d'aborder ce problème, nous nous sommes adressés à un modèle naturel, dans lequel une Algue, *Enteromorpha salina* kütz. est largement dominante, ce qui simplifie l'étude.

## I. — MATERIEL ET METHODES

### 1. *Description des stations*

Les prélèvements ont été effectués dans une station de la vallée de la Seille. Cette rivière, affluent de la rive droite de la Moselle, circule en partie sur un substrat argilo-marneux appartenant à l'étage keupérien. La nature géologique des terrains traversés est à l'origine d'une salinité parfois importante des eaux superficielles : il a été relevé de 117 à 2670 mg.l<sup>-1</sup> de NaCl dans le cours de la Seille, de 8700 à 38600 mg.l<sup>-1</sup> dans les marais proches (PIERRE 1966, 1970). Ces valeurs sont soumises à de fortes variations, notamment sous l'influence des facteurs hydrologiques et climatiques.

La station de prélèvement, au niveau de la commune de Marsal, est constituée par une rigole d'écoulement d'un marais rejoignant la Seille. La végétation environnante présente, au voisinage de cette station, un caractère halophile marqué.

### 2. *Matériel végétal*

Parmi les Algues recensées dans ces eaux, *Enteromorpha salina* se caractérise par sa structure plurisériée et de ce fait constitue un matériel intéressant pour les études *in situ* au M.E.T.

Dans l'habitat qui est le sien, l'examen microscopique de cette Chlorophycée révèle un gradient de décomposition depuis la surface vers le fond du ruisseau. Ainsi la strate supérieure constituée de filaments verts à activité physiologique élevée cède-t-elle progressivement la place à une strate inférieure contenant des filaments forte-

ment dégradés et noircis. L'existence permanente de toutes les étapes intermédiaires de la biodégradation rend possible une étude de la décomposition sur une seule série de prélèvements. Cependant, afin de contrôler les résultats obtenus lors de la récolte du mois d'août 1973, nous avons également examiné d'autres prélèvements recueillis en octobre 1973 et janvier 1974. Mises à part quelques modifications dans l'importance des strates précédemment décrites, aucune différence ultrastructurale notable n'a été décelée.

### 3. *Analyse de la flore bactérienne.*

Cette analyse n'a pas pour but une recherche systématique de germes fécaux ou pathogènes, mais tente d'isoler et d'identifier le maximum de germes saprophytes présents dans le microhabitat constitué par les touffes d'Algues.

Les échantillons prélevés à l'aide de récipients stériles ont été immédiatement analysés au laboratoire après mise en culture sur milieux nutritifs gélosés, maintenus en conditions aérobies ou anaérobies. L'identification des bactéries a été réalisée selon SKERMAN (1967) ainsi que GIBBS et SHAPTON (1968) et GIBBS et SKINNER (1966).

### 4. *Etudes aux microscopes électroniques.*

Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont eu lieu à partir d'échantillons déshydratés, fixés sur des porte-objets et ombrés à l'or.

En microscopie à transmission (MET) des fragments provenant des différents stades de décomposition ont été fixés au tétroxyde d'osmium à 2 % pendant 1 h. 30 mn. Après déshydratation et inclusion dans l'épon, les coupes fines obtenues à l'aide d'un couteau de diamant ont été contrastées au citrate de plomb, selon la technique de REYNOLDS (1963). L'examen en a été effectué à l'aide d'un microscope Siemens Elmiskop 101 réglé à 80 kV.

## II. — RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. *Flore bactérienne*

Les résultats de l'analyse bactériologique de l'eau sont résumés dans le tableau suivant (Tabl. I).

A l'époque des prélèvements, les températures de l'eau n'étaient que peu propices au développement des germes coliformes. Les mi-

croorganismes observés à 37° C ne représentent ainsi que 1 % de la flore mésophile totale.

TABLEAU I

Numération des bactéries sur bouillon nutritif gélosé.  
Nombre de germes/ml.

Boîtes	1	2	3	4	5
48 h. à 22° C	450 000	570 000	450 000	540 000	320 000
24 h. à 37° C	4 100	2 700	2 300	1 200	2 100
Psychrophiles	12 100	13 200	10 600	10 100	8 900
Anaérobies	710	850	540	830	750

La microflore est dominée par les genres *Bacillus* (50 %) et *Pseudomonas* (35 %). On ne rencontre qu'exceptionnellement des espèces appartenant aux genres *Serratia*, *Chromobacterium* et *Micrococcus*.

Les psychrophiles sont représentés à plus de 60 % par les *Pseudomonas*, alors que les *Clostridium* constituent 50 % de la flore anaérobie.

Les techniques de suspension-dilution révèlent quelques germes de moisissures et levures ubiquistes : *Trichoderma*, *Penicillium*, *Rhodotorula*.

Selon de nombreux auteurs, ces germes possèdent un équipement enzymatique suffisant pour métaboliser la paroi de l'Algue *Enteromorpha*. Cependant, seule l'observation directe permet de vérifier si ces microorganismes participent tous, et de façon active, à la décomposition de l'*Enteromorpha*.

## 2. Flore algale.

Les prélèvements ont été effectués selon les techniques usuelles. D'une largeur inférieure au mètre, profond de quelques dizaines de centimètres, le fossé d'écoulement du marais de Marsal est envahi, sauf en période hivernale, par une abondante flore algale macroscopique formant des amas à la surface de l'eau. *Enteromorpha salina* Kütz. et *Rhizoclonium hieroglyphicum* Kütz. (ssp. *riparium* (HARVEY) STOCKM.) sont les espèces dominantes et s'entremêlent de quelques jeunes thalles d'*E. intestinalis* (L.) Link ainsi que de rares trichomes d'*Oscillatoria* sp. Il s'y ajoute une flore diatomique épiphytocyte, ca-

ractérisée par une grande pauvreté en espèces, ce qui confère une certaine monotonie aux relevés. *Amphora holsatica* Hust. et *A. veneta* (Kütz.) Hust. sont les seules espèces très abondantes, recouvrant parfois les Algues filamenteuses d'un manchon localement continu. On relève parmi les espèces accompagnatrices, *Achnanthes brevipes* Ag. et var. *intermedia* (Kütz.) Cl., assez communes et beaucoup plus rarement *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Navicula salinarum* Grun., *Bacillaria paradoxa* Gmel., *Surirella ovata* Kütz. et var. *salina* (W. Sm.) Hust.

A cette flore presque monogénérique s'oppose la variété et l'abondance des Diatomées peuplant la vase : *Surirella ovata* et sa var. *salina*, *Navicula salinarum*; y sont très abondantes, accompagnées en plus ou moins grande abondance par *Cyclotella meneghiniana*, *Amphora holsatica* et *A. veneta*, *Achnanthes brevipes* et var. *intermedia*, *Bacillaria paradoxa*, etc. Le caractère halophile de cette flore est souligné par la présence de Diatomées caractéristiques d'un milieu saumâtre, parmi lesquelles *Amphiprora alata* Kütz., *A. paludosa* W. Sm., *Anomoeoneis sphaerophora* (Kütz.) Pfitzner var. *sculpta* (Ehr.) O. Mull., *Cocconeis pediculus* Ehr., *Gyrosigma wansbeckii* (Donkin) Cl., *Nitzschia vitrea* Norman, *Pleurosigma salinarum* Grun.

### 3. Modifications ultrastructurales de la paroi.

Le contenu des cellules algales disparaît au cours des tous premiers stades de la décomposition. Il faut cependant noter la résistance particulière de l'appareil photosynthétique. Il semble qu'il s'agisse d'un phénomène général, puisque des observations analogues ont été faites antérieurement chez des végétaux supérieurs (KILBERTUS et al. 1973). Un modèle expérimental actuellement à l'étude, concernant la biodégradation d'une Algue bleue (*Gloeotrichia echinulata* (Smith) Richter) montre que les thylacoïdes aplatis et allongés de cette Cyanophycée se conservent remarquablement.

Du fait de la disparition rapide du protoplasme et de la diffusion aisée des produits hydrosolubles dans le milieu aquatique, les seules formations cellulaires autorisant une étude prolongée et détaillée sont représentées par les parois. Chez les *Enteromorpha* témoins (fig. 1) la paroi révèle une structure fibrillaire bien marquée. Selon CRONSAAW et al. (in ROUND 1958), la fraction hydrosoluble de l'enveloppe cellulaire d'*Enteromorpha* sp. est constituée essentiellement de glucose, galactose, acide uronique, la fraction hemicellulose et a-

cellulose contenant xylose, rhamnose et glucose en proportions variables. Ces deux derniers composants (hemicellulose et  $\alpha$ -cellulose) sont les constituants essentiels des microfibrilles.

Les premiers stades de la décomposition se caractérisent par une désorganisation de l'architecture initiale de la paroi, ainsi que par une condensation du protoplasme (fig. 2). Par la suite (fig. 3) les fibrilles se chargent de substances opaques aux électrons qui, au cours du temps, prennent l'aspect de granules (fig. 4). Ces derniers, dont le diamètre est compris entre 30 et 90 nm, sont morphologiquement comparables à ceux produits lors de la décomposition de *Brachypodium pinnatum* (REISINGER et al. 1937). La paroi a perdu à ce moment son aspect fibrillaire. Au cours de cette évolution, la surface de l'Algue se couvre de produits minéraux et organiques divers, parmi lesquels il est possible de reconnaître des particules d'argiles (fig. 3). Les images obtenues à l'aide du MEB ne permettent pas de déceler ces modifications internes. Il est cependant possible de distinguer des débris de taille variable, sans que l'on puisse identifier les argiles avec certitude (fig. 5 et 6).

#### 4. *Microorganismes observés aux MET et MEB au cours de la décomposition.*

Chez les végétaux terrestres, les Champignons sont liés aux premiers stades de la décomposition et provoquent rapidement des altérations profondes (KILBERTUS et al. 1973, 1974). Il en est de même au cours de la biodégradation de cellules d'*Aureo-basidium pullulans* incubées dans la nature (REISINGER et KILBERTUS 1974).

Dans les exemples précédemment cités, l'activité des espèces fongiques se traduit de deux façons différentes :

- soit une métabolisation rapide des polysaccharides extracellulaires de la levure,
- soit une perforation des enveloppes cellulaires autorisant une pénétration aisée des bactéries dans la paroi ou la lumière des cellules. Cette action se traduit par une disparition locale et intense des produits situés autour des hyphes.

Dans les conditions d'étude, les Micromycètes n'interviennent pas dans la dégradation de la paroi d'*Enteromorpha*. Les bactéries

susceptibles de perforer l'enveloppe cellulaire d'autres organismes (OLD et ROBERTSON 1970, REISINGER et KILBERTUS 1973) sont aussi absentes. Il en résulte que les transformations ne sont pas ponctuelles, mais uniformément réparties sur des fractions plus ou moins importantes de la paroi algale.

Les microorganismes observés au cours de la décomposition de l'*Enteromorpha* peuvent être classés en trois groupes différents : Algues, Diatomées et Bactéries. Ils apparaissent toujours appliqués à la surface ou localisés dans la partie superficielle des couches externes de l'Algue. Même dans les conditions particulières du milieu aquatique, il semble qu'il existe autour de la Chlorophycée étudiée une zone caractéristique. Dans cette dernière il se rencontre une flore adaptée à ce microhabitat spécial. Ce phénomène rappelle étroitement ceux observés autour des feuilles (phyllosphère) et des racines (rhizosphère). A défaut de terme approprié nous désignerons cette zone superficielle sous le vocable de phycosphère.

a) Algues.

Comme le montre la fig. 7, il existe des relations accidentelles entre *Rhizoclonium hieroglyphicum* et *Enteromorpha salina*. Ces superpositions sont fortuites, mais une éventuelle action ponctuelle ne peut être écartée. En effet, la figure 8 prouve qu'une Cyanophycée (*Oscillatoria* sp.) peut provoquer des modifications ultrastructurales au contact direct de l'*Enteromorpha*. A ce niveau, la paroi présente une zone apparemment dépourvue de structure fibrillaire, plus imperméable aux électrons que les régions sous-jacente et voisine.

b) Diatomées

Ces Algues siliceuses sont très fréquentes à la surface de l'Algue en voie de décomposition (fig. 9 et 11). Des coupes fines réalisées dans les Diatomées (fig. 13 et 15) révèlent la structure protoplasmique habituelle, dénotant une activité physiologique élevée. Des mitochondries à crêtes tubulaires sont abondantes au sein d'un protoplasme dense (fig. 12). L'appareil photosynthétique constitué par des groupements caractéristiques de 3 thylacoïdes, ne présente aucune altération et semble parfaitement apte à remplir ses fonctions cellulaires (fig. 14). Ces images sont comparables à celles obtenues par STOERMER et PANKRATZ (1964) et DRUM et PANKRATZ (1964) chez différentes espèces.

Les altérations générales de l'enveloppe de l'*Enteromorpha* peuvent éventuellement provenir d'une action directe des Diatomées, mais il est plus vraisemblable qu'elles soient dues, au moins en partie, à l'association Diatomées-Bactéries. Ces dernières se retrouvent en effet très fréquemment dans les replis des frustules (fig. 10). Leur présence dans ces anfractuosités aboutit à la formation de microhabitats particuliers échappant à l'action diluante du milieu aquatique. Cet état de fait permet de maintenir un taux plus élevé d'enzymes, ce qui peut entraîner un effet plus prononcé lors de contacts directs entre l'Algue et la Diatomée.

La différence qualitative existant entre la flore algale du fond du ruisseau et celle de la phycosphère souligne le rôle sélectif de cette dernière.

### c) Bactéries.

En dehors des bactéries associées aux Diatomées, il s'en rencontre généralement à l'état libre au sein de la phycosphère. Elles ne provoquent pas la formation de zones de lyse et leurs enzymes diluées par l'eau de la rigole n'agissent plus de manière ponctuelle. On peut néanmoins observer dans quelques cas, à proximité d'une bactérie, une légère érosion de la surface de l'*Enteromorpha* (fig. 17). Les cavités ainsi formées peuvent retenir des feuilletts d'argiles (fig. 16). Les substances minérales deviennent parfois abondantes et jouent alors un rôle protecteur momentané (fig. 18). Il est en effet connu depuis longtemps que les enzymes peuvent être partiellement inhibées par adsorption sur les argiles.

Au cours du temps, le nombre de bactéries augmente et après plusieurs mois la paroi est fortement altérée et ne subsiste plus que sous forme de fragments mélangés au mucilage bactérien (fig. 19). Ce stade précède l'incorporation des résidus dans les matériaux de nature diverse constituant le fond du lit de la rigole.

## 5. Importance des argiles

La figure 20 précise l'association entre les minéraux argileux et les produits superficiels provenant de la paroi de l'algue.

Les particules minérales prélevées au fond de la rigole et analysées par diffractométrie se révèlent être constituées à 90 % d'il-

lite. Au MET et en coupes fines, elles se présentent sous forme de feuillets auxquels sont associés des produits granuleux non identifiés (fig. 21). Ces derniers sont absents dans les échantillons témoins de provenance différente (fig. 22).

### III. — CONCLUSIONS

Dans nos conditions d'étude, il apparaît que le processus de décomposition dans un milieu aquatique diffère fondamentalement de ceux existant dans un sol ou dans une litière : les Champignons, décomposeurs primaires des végétaux terrestres, n'interviennent pas lors de la dégradation de l'Algue *Enteromorpha*. Cela se traduit par l'absence de perforations dans les parois, susceptibles d'autoriser l'entrée des bactéries dans la cellule.

L'existence d'un phénomène d'autolyse spontanée, ou d'une modification des parois sous l'action de facteurs abiotiques, ne peut être exclue.

L'influence possible des procaryotes n'aboutit jamais à des plaques de lyse caractéristiques. Lorsque cet effet est visible, il se concrétise par l'apparition d'érosions superficielles de l'enveloppe de la Chlorophycée, et certainement, du moins à un stade donné de la biodégradation, par la formation de nombreux granules denses aux électrons. Ces transformations, non plus ponctuelles mais uniformément réparties sur l'ensemble de la paroi, sont probablement liées à la dilution des enzymes par l'eau et à une diffusion éloignée du site de production.

Les Cyanophycées, au contact de l'*Enteromorpha*, sont susceptibles de modifier éventuellement l'architecture initiale de la paroi de la Chlorophycée.

Les Diatomées ne semblent pas avoir d'action directe sur la paroi. Mais les nombreux replis de leur frustule hébergent fréquemment des bactéries et constituent autant de microhabitats particuliers permettant localement une concentration plus élevée en enzymes. Le contact direct entre de telles Diatomées et l'Algue verte peut alors induire des transformations plus profondes.

Les microassociations Diatomées-bactéries possèdent une importance certaine, car la flore algale de la phycosphère s'est révélée presque monospécifique et s'oppose à la variété et à l'abondance des Diatomées peuplant la vase.

Autour des Algues en voie de décomposition, les argiles se déposent et peuvent momentanément jouer un rôle protecteur. Les minéraux argileux s'enchevêtrent intimement avec les sous-produits de la dégradation des parois, au niveau du fond du cours d'eau.

Comme dans le cas des travaux précédents, le MET se révèle être un outil indispensable pour l'étude des mécanismes d'humification des matériaux organiques. Le MEB permet d'illustrer certains stades particuliers, mais il serait hasardeux d'affirmer qu'un matériel donné correspond à de l'humus ou à des fractions minérales en utilisant ce seul instrument.

U.E.R. Sciences Biologiques  
Université de NANCY I  
Case Officielle 140  
54037 NANCY CEDEX

REMERCIEMENTS : L'Etude des coupes fines a été réalisée au Laboratoire de Microscopie électronique de l'Université de NANCY I. Nous exprimons nos plus vifs remerciements à M. le Professeur G. GRIGNON pour les autorisations et les facilités qu'il nous a accordées au cours de ce travail. Nous remercions également Mme SIMONETTI pour sa collaboration technique.

BIBLIOGRAPHIE

- DRUM R.W., PANKRATZ H.S. — 1964. Pyrenoids, raphes and other fine structure in diatoms. *Amer. J. Bot.*, 51, 4, 405-418.
- GIBBS B.M., SKINNER F.A. — 1966. Identification methods for microbiologists. Part A. *Acad. Press*, London, New-York, 145 pp.
- GIBBS B.M., SHAPTON D.A. — 1968. Identification methods for microbiologists. Part. B. *Acad. Press*, London, New-York, 212 pp.
- KILBERTUS G., MANGENOT F., REISINGER O. — 1973. Etude de la décomposition naturelle et expérimentale des feuilles de *Brachypodium pinnatum* P.B. — Microécologie et micromorphologie électronique. P.B.I., RCP 40 : *Ecologie du Sol*, 3, 152-193.
- KILBERTUS G., REISINGER O., DELON R. — 1974. Biodégradation et humification. II : Activité des microbiocénoses dans les racines de luzerne. Etude électronique. *Rev. Ecol. Biol. Sol* (sous presse).
- OLD K.N., ROBERTSON W.M. — 1970. Growth of bacteria within lysing fungal conidia in soil. *Trans. Br. mycol. Soc.*, 54, 337-341.
- PIERRE J.F. — 1966. Le genre *Enteromorpha* dans les eaux saumâtres de Lorraine. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sci.*, 6, 1, 31-34.
- PIERRE J.F. — 1970. Répartition des Algues dans quelques formations saumâtres de Lorraine. *Bull. Acad. Soc. Lorr. Sc.*, 9, 1, 168-173.
- REISINGER O., KILBERTUS G., MANGENOT F. — 1971. Electron microscopical studies on the first stages of humification. Studies about humus. *Humus et Planta V. Trans. internat. Symp. Praha* 43-45.
- REISINGER O., KILBERTUS G. — 1973. Biodegradation et humification. III. Libération des granules. Modèle expérimental en présence de bactéries. Conclusions générales. *Soil. Biol. Biochem.*, 5, 187-92.
- REISINGER O., KILBERTUS G. — 1974. Biodégradation et humification. V. Microorganismes intervenant dans la décomposition des cellules d'*Aureobasidium pullulans* (De Bary) Arnaud. *Can. J. Microbiol.*, 20, 299-306.
- REYNOLDS E.S. — 1963. The use of lead extrate at high pH as an electron opaque stain in the electron microscopy. *J. cell. Biol.*, 17, 202-212.
- ROUNDS F.E. — 1958. The biology of the algae. *Edward Arnold L.T.D.* London, 269 pp.
- SKERMAN V.D.B. — 1967. A guide to the identification of the genera of Bacteria. *The Williams and Wilkins Co.* Baltimore, 303 pp.
- STOERMER E.F., PANKRATZ H.S. — 1964. Fine structure of the diatom *Amphipleura pellucida*. I. Wall structure. *Amer J. Bot.*, 51, 986-990.

LEGENDE DES PLANCHES

Planche I

Fig. 1

Structure de la paroi d'*Enteromorpha satina* Kütz. témoin. (MET)

Fig. 2

Début de la décomposition. Cytoplasme fortement condensé, dense aux électrons, et modifications de l'enveloppe cellulaire (MET)

Fig. 3

Condensation de produits imperméables aux électrons. Persistance de la structure fibrillaire de la paroi (MET)

Fig. 4

Disparition de la structure fibrillaire et condensation des produits imperméables aux électrons. (MET)

Fig. 5 et 6

Aspect de la surface des filaments en voie de décomposition (*Enteromorpha salina*, MEB)

Planche II

Fig. 7

Contact accidentel entre *Enteromorpha* et des Cyanophycées filamenteuses, plus minces (MEB)

Fig. 8

Cyanophycée filamenteuse en contact avec une thalle d'*Enteromorpha* en voie de décomposition. (MET)

Fig. 9

Filament d'*Enteromorpha* fortement dégradé, couvert de particules minérales et de Diatomées adhérentes. (MEB)

Fig. 10

Bactéries libres et association Diatomées-Bactéries (MET)

Fig. 11

Diatomée (*Achnanthes brevipes*) Ag. var. *intermedia* (Kütz) Cl. fixée sur un filament d'*E. salina*.

Planche III

Fig. 12, 13 et 15

Aspect du protoplasme des Diatomées associées à la décomposition d'*E. salina* (MET)

Fig. 14

Structure de l'appareil photosynthétique d'une Diatomée (MET)

Planche IV

Fig. 16

Bactéries libres au voisinage des filaments d'*E. salina* et adsorption des feuillets d'argile à la surface de l'Algue (MET)

Fig. 17

Bactérie libre et érosion superficielle, probablement d'origine lytique, de la paroi d'*Enteromorpha* (MET)

Fig. 18

Adsorption massive de particules minérales sur la paroi de l'Algue. (MET)

Fig. 19

Bactéries abondantes dans les débris fortement dégradés d'*E. salina*. (MET)

Planche V

Fig. 20

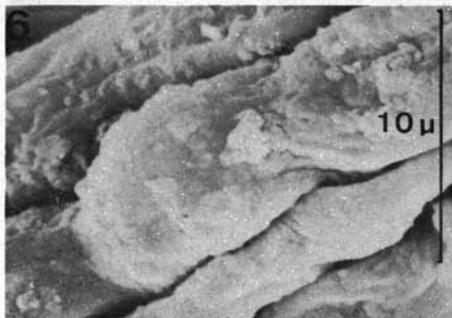
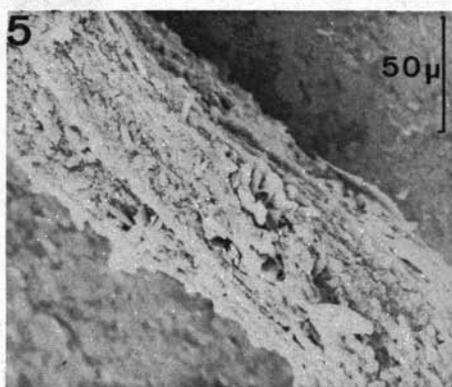
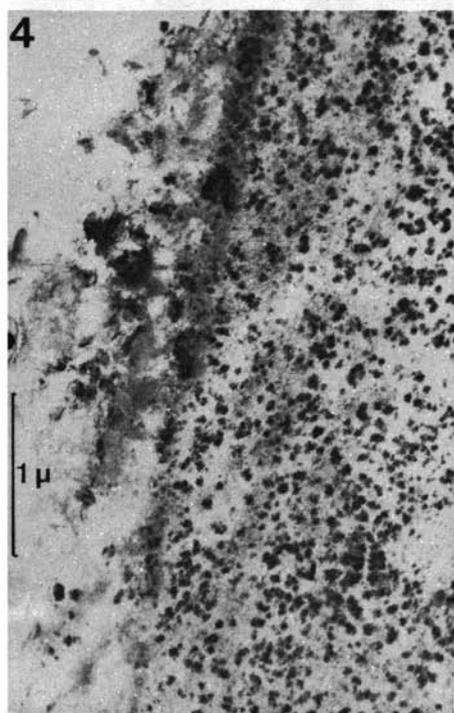
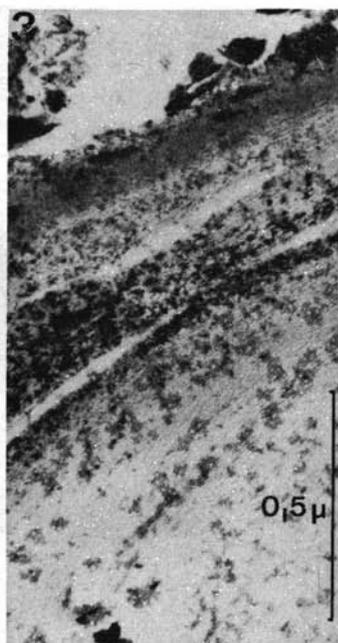
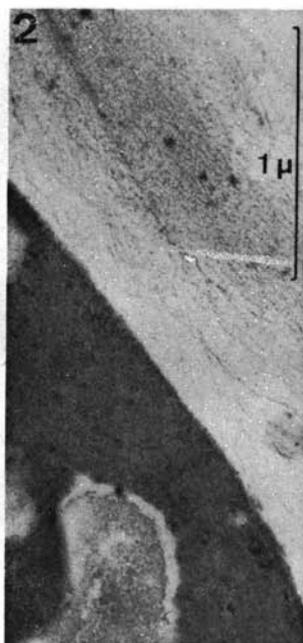
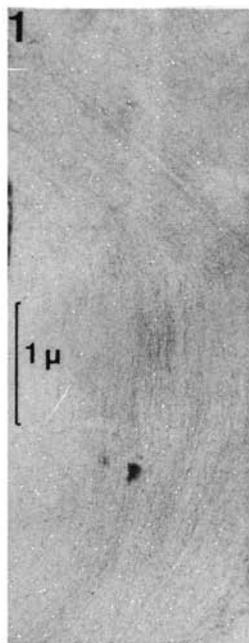
Détail de l'adsorption des feuillets d'argile à la surface de la paroi de l'Algue. (MET)

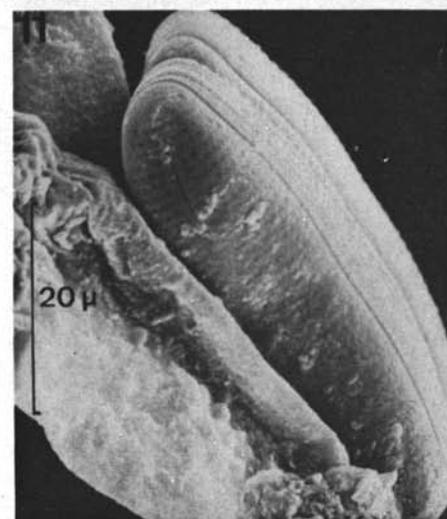
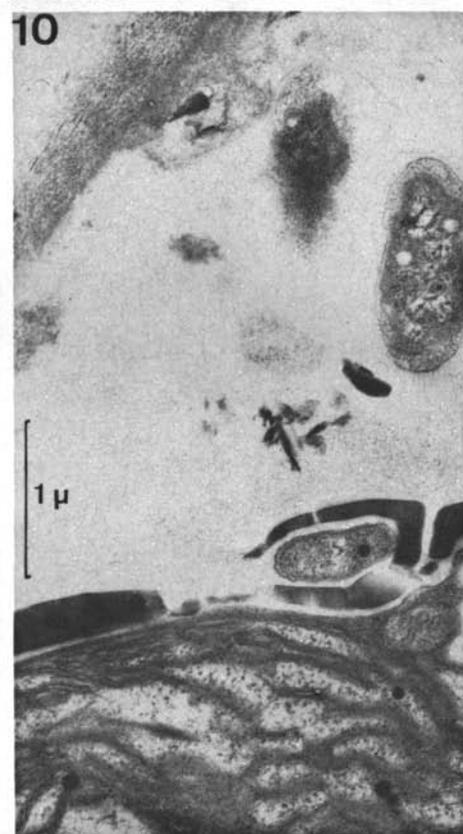
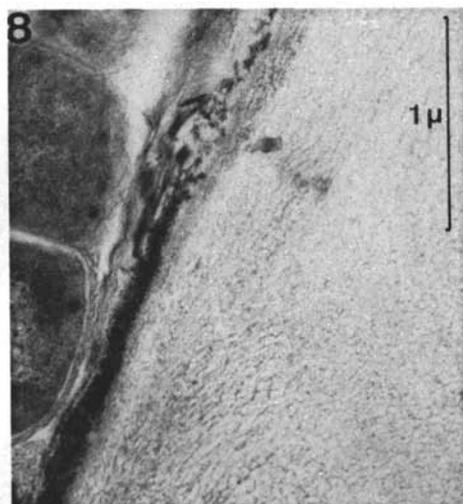
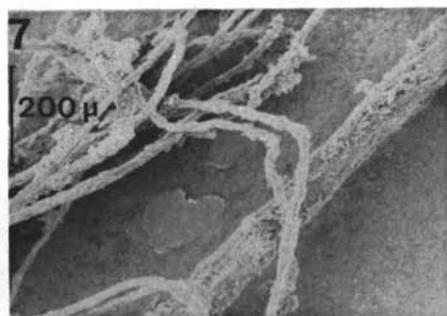
Fig. 21

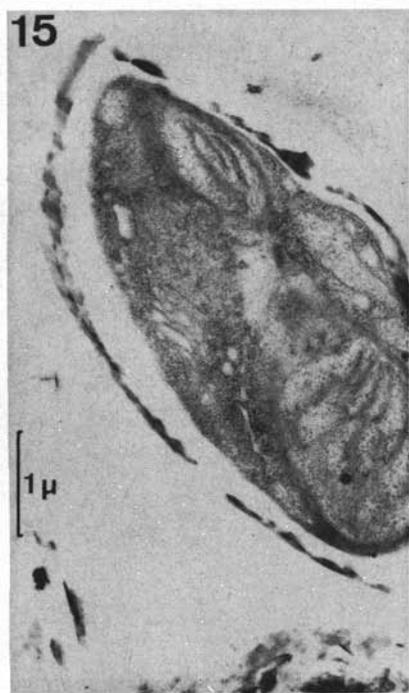
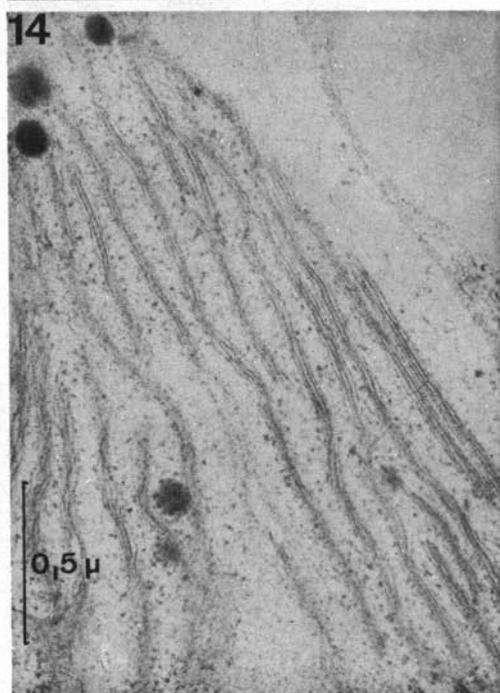
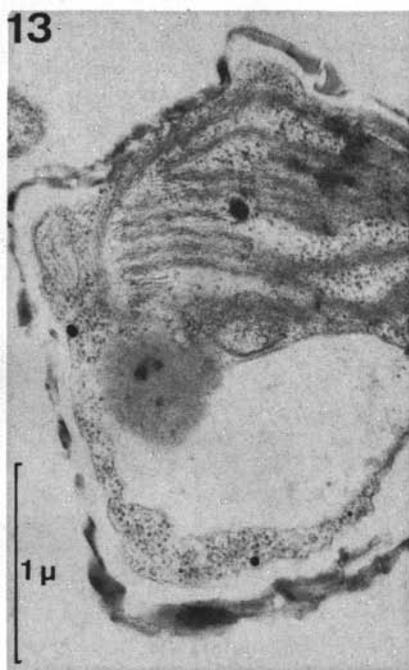
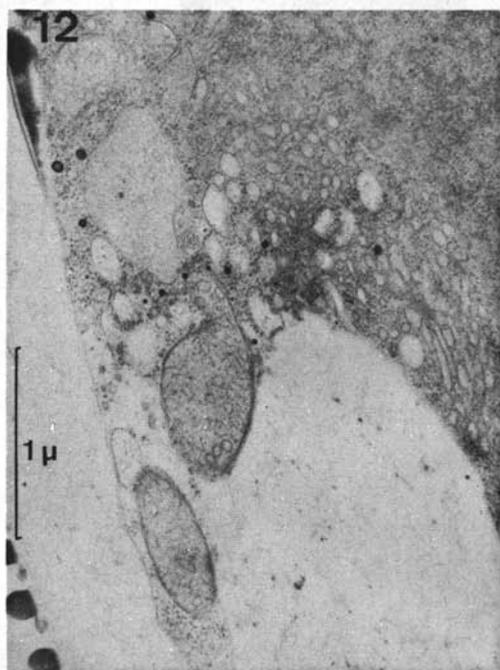
Structure des particules minérales prélevées au fond du ruisseau. (MET)

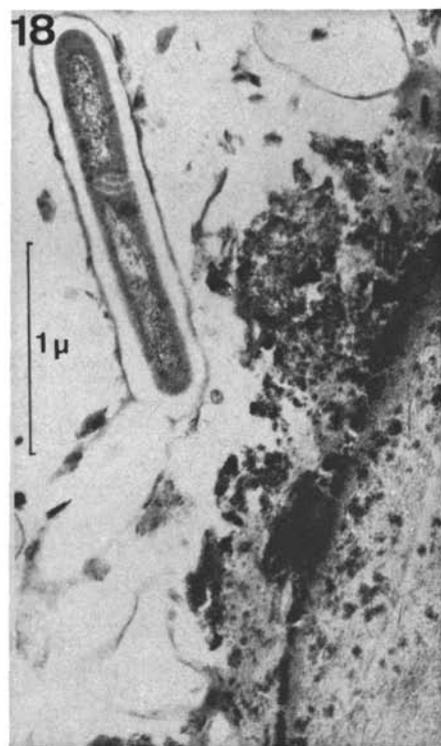
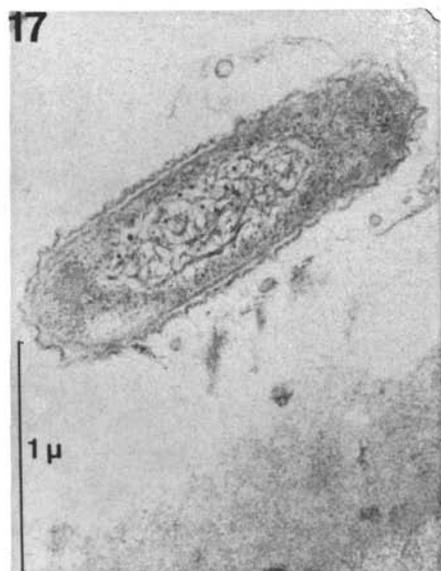
Fig. 22

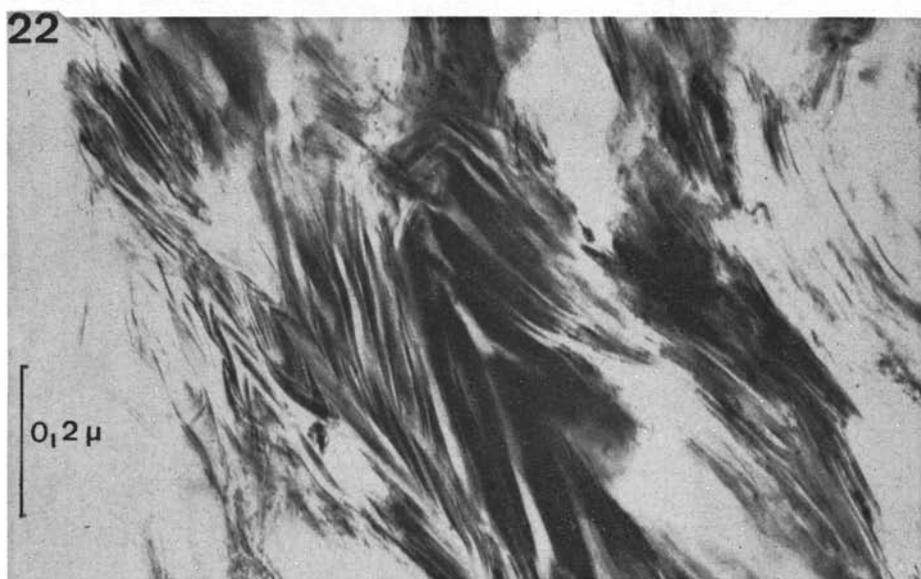
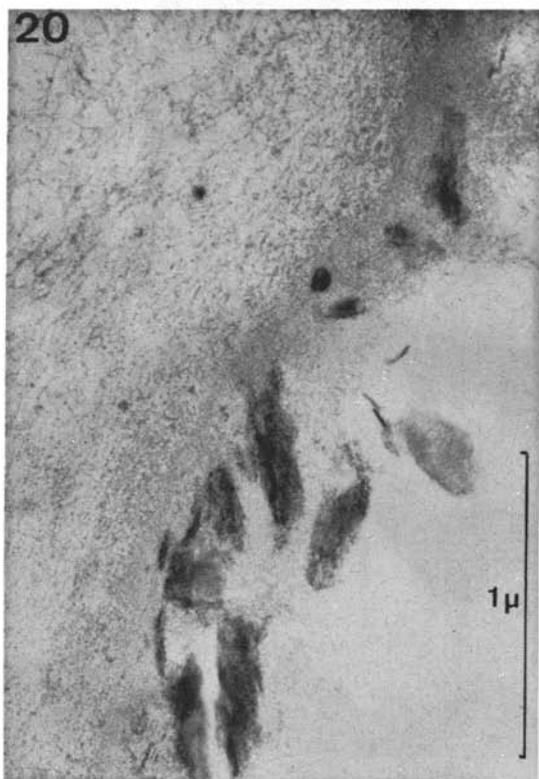
Structure de l'argile témoin. (MET)











## L'HOMME, MESURE DE TOUTES CHOSES...

### Essai sur l'unité de mesure de l'économie\*

par Cl. JARDIN

#### RESUME

**A** Un champ, une automobile, un bistouri, un agneau, la consultation d'un médecin, le traitement d'un comptable, une coupe de cheveux, le travail d'un bœuf de labour comme celui d'un avion supersonique : la valeur de ces biens et services et de tout ce qui répond à une activité économique — production, échange, consommation — peut être estimée sous forme d'un coût énergétique, exprimable en *joules*.

La méthode d'analyse des réseaux (*network analysis*) est la méthode privilégiée qui permet l'étude de toute activité économique et son expression en termes d'énergie et de temps.

Il est proposé, en outre, un *étalon de mesure de l'activité économique*, fondé sur le métabolisme basal de l'Homme de référence FAO-OMS.

Les économistes expriment les comptabilités nationales en termes monétaires nationaux (1) ; lorsqu'ils traitent de l'économie sur le plan international, leur comptabilité est généralement exprimée en dollars des États-Unis. Ils reconnaissent eux-mêmes que la mesure de l'économie en termes d'une monnaie nationale est très imparfaite ; la recherche d'une « mesure invariable de la valeur » préoccupa d'ailleurs l'économiste Ricardo jusqu'à la fin de sa vie (2).

Au début de 1972, la Commission du Pacifique Sud nous demanda de rédiger, à l'intention de l'ensemble des îles de l'Océanie tropicale, un document sur l'alimentation et le budget familial. Or, deux difficultés se présentaient, qui s'opposaient à l'unité d'expression. La première de celles-ci était la diversité des monnaies qui ont cours dans le Pacifique Sud : dollar australien, livre néo-zélandaise, dollar des États-Unis, francs CFP, livre fidjienne, etc... La seconde difficulté résidant dans le fait que les prix — convertis, selon le cours, en une des unités monétaires — varient considérablement d'un territoire à l'autre de cette région. Ainsi, la même année, le kilogramme de taro, tubercule de grande consommation, coûtait quatre fois plus cher en Nouvelle-Calédonie qu'aux îles Fidji.

La recherche d'une unité de mesure commune, applicable en tout lieu, nous a conduit à réunir les observations qui suivent.

\* La reproduction et la traduction de cet article sont autorisées. Toutefois, mention devra être faite de son origine (auteur, titre et adresse du siège de la revue) et l'envoi de deux exemplaires justificatifs est instamment demandé.

Note présentée par M. PIERRE, séance du 9 mai 1974.

## LE « PERSONNAGE » ECONOMIQUE

Depuis les travaux du physiocrate Quesnay et de l'économiste Adam Smith, on sait que la source des richesses des nations se trouve dans le travail. Mais ce terme de « travail » prête lui-même à confusion, car il est évident qu'on ne saurait grouper sous un même terme le travail d'une machine et celui d'un professeur de mathématiques.

Cependant, l'observation du système techno-économique actuel nous montre que le « travail » de l'homme peut se diviser, sommairement, d'une part, en « travail » cérébral — dont le prolongement est le travail des ordinateurs, qui « pensent » à la place de l'homme tout en aidant sa mémoire — et, d'autre part, en « travail » mécanique, le travail des membres, dont le prolongement est le travail mécanique des machines. Ces deux types fondamentaux de « travail » sont d'ailleurs reliés, coordonnés étroitement entre eux.

Ainsi, au niveau mondial, le « Personnage » économique pourrait être conçu comme étant un organisme gigantesque comprenant, schématiquement :

- quelque 4 milliards de cerveaux (et systèmes nerveux annexes), reliés entre eux par des systèmes de communication (langage, écriture et autres moyens d'expression), assistés d'ordinateurs et d'organes d'informations ;
- quelque 4 milliards de « moteurs » humains, agissant sur 8 milliards de jambes et 8 milliards de bras dont le prolongement, la machine, reliée elle-même aux cerveaux, opère des travaux gigantesques.

A ce tableau du « Personnage » économique, il se devrait d'ajouter encore les « cerveaux » et les « moteurs » des auxiliaires de l'homme dans son travail que sont les animaux de trait et de charge.

Ce « Personnage » économique se présente, en quelque sorte, sous forme d'un enfant gigantesque, en continuelle croissance, ayant, de même que n'importe quel enfant, des besoins « nutritionnels » :

- 1) matériaux de construction et d'entretien (matière),
- 2) énergie,

chaque élément de l'économie jouant un rôle comparable à celui d'une cellule\* dans l'organisme d'un enfant.

\* Cf. L. DE BROGLIE : « Quand on s'élève au monde macroscopique, le caractère discontinu des phénomènes individuels disparaît, noyé pour ainsi dire dans la statistique » (*Matière et Lumière*, pp. 253-254), cité par J. RUEFF (3) ; A. LEROI-GOURHAN : « Cet arsenal disparate fournit, par pièces détachées, les éléments d'un assemblage étrangement comparable à l'assemblage biologique » (*Le geste et la parole*, vol. 2, p. 51) (4).

## LE JOULE, UNITE DE MESURE DE L'ENERGIE

La nécessité d'attribuer une configuration humaine au « Personnage » économique provient, non pas de quelque hasard, mais de l'observation selon laquelle, à tous les niveaux de l'économie — production, échange, consommation — on retrouve cette même personne, qui est l'homme. L'économie n'existe qu'en fonction de celui-ci : elle est faite par l'homme et — pour ceux qui n'ont pas perdu de vue cette fin — pour l'homme. C'est l'homme qui produit, c'est l'homme qui échange, c'est l'homme qui consomme ou, tout au moins, c'est lui qui dirige, dans le secteur qui lui revient, l'ensemble de ces opérations.

A sa naissance, le « Personnage » économique n'est composé que de deux êtres : un homme et une femme. Ceux-ci, pour subsister et perpétuer leur espèce, puisent, dans leur milieu la matière et l'énergie dont ils ont besoin. *La matière et l'énergie qui sont mises à leur disposition sont, à l'origine, gratuites. Le seul élément qui coûte à l'homme est l'énergie qu'il doit dépenser pour se procurer, ensemble, matière et énergie.*

Pour acquérir tout ce dont il aura besoin par la suite — en fonction de l'évolution de sa techno-économie — le seul élément qui coûte à l'homme est son « travail », \* qui se traduit par sa propre dépense énergétique. Lorsque son énergie propre ne lui suffit plus, l'homme fait appel à l'énergie de l'animal (de trait, de charge) et à d'autres formes d'énergie (les eaux, les vents, le feu...) qu'il réussit à transformer en « travail ». Le « travail » de l'animal et le « travail » de la machine économisent à l'homme une part de sa dépense énergétique et lui permettent même de multiplier son propre « travail ».

La valeur économique de *l'outil*, « prolongement direct et souvent intime de la main » (5) est celle du « travail » de l'homme qui l'a conçu et fabriqué et la valeur de ce travail de l'homme se ramène (pour l'homme producteur d'outils) à l'énergie qu'il a dépensée à produire cet outil.

La valeur d'un objet est déterminée par l'échange. Or, la littérature n'est pas chiche de formules telles que « à travail égal, salaire égal » (6) ou « la logique de l'échange est l'équivalent » (7). Déterminer l'égalité dans le travail — ou l'équivalence de l'échange — revient, pour chacun des échangeurs, à « mesurer » son propre travail. Et comment mesurer ce travail, si ce n'est par la quantité d'énergie mise

\* Le terme « travail » est employé ici dans son acception économique.

en œuvre pour l'accomplir, d'une part, et par la « qualité » de ce travail (ce point sera réexaminé plus loin), d'autre part ?

L'énergie est un travail\* « accumulé », c'est-à-dire une réserve ou une capacité de travail. On mesure l'énergie au moyen de l'unité qui sert à mesurer le travail, c'est-à-dire, dans le « Système international » de mesures, *le joule*.

L'« Homme de référence », répondant à la définition qu'en donnent la FAO et l'OMS (8), c'est-à-dire en bonne santé, pesant 65 kg. exerçant une activité modérée (ex. : ouvrier du bâtiment, agriculteur, militaire hors le service en campagne) d'une durée de 8 heures, dépense, en moyenne, par 24 heures, 12,5 MJ\*\* (soit 3.000 kcal\*\*\*). Si son activité professionnelle est forte, la dépense énergétique est évaluée à 14,6 MJ et, si elle est exceptionnelle, la dépense énergétique s'élève à 16,7 MJ. Pour une activité professionnelle légère, la dépense énergétique est abaissée aux environs de 11,3 MJ (2.700 kcal). On a évalué également les dépenses énergétiques de la « Femme de référence » FAO-OMS (poids 55 kg) (8).

Quelle est la part de cette énergie employée à l'exercice de la profession ? C'est d'un côté, l'énergie dépensée *directement* dans l'activité professionnelle (5,8 MJ en 8 heures, pour une activité modérée), mais aussi l'énergie dépensée *indirectement* : au cours du sommeil (2,1 MJ en 8 heures), ou encore dans l'exercice de diverses activités nécessaires au travail professionnel (s'habiller, manger, se perfectionner, etc...). Nous avons estimé (provisoirement) cette dernière fraction égale à environ 3,0 MJ. Ainsi, *le coût énergétique* du travail professionnel de l'Homme de référence FAO-OMS, exerçant une activité modérée, pourrait-il être estimé égal à environ 10,9 MJ par 24 heures. Celui de la Femme de référence serait égal à environ 8,4 MJ.

La détermination de la dépense énergétique au cours des activités quotidiennes peut être effectuée, d'ailleurs, de manière relativement précise, et l'on dispose de tables à cet effet (8), à la suite, notamment, des travaux de J.V.G.A. Durnin et R. Passmore (9).

Au cours des 24 heures, l'énergie totale dépensée doit être remplacée par une quantité d'énergie équivalente correspondant aux be-

---

\* Au sens physique du terme.

\*\* Mégajoules : un mégajoule équivaut à 239 kilocalories.

\*\*\* Kilocalories ou grandes calories.

soins nutritionnels. Ces besoins énergétiques (ou besoins en « calories ») sont donc de 3.000 kcal (12,5 MJ) pour l'Homme de référence exerçant une activité modérée. Ils sont de 2.200 kcal (9,2 MJ) pour la Femme de référence (8). Comme les besoins énergétiques des enfants, par groupe d'âge, sont connus, on peut en déduire les besoins moyens d'un *Enfant de référence* hypothétique, dont l'âge serait compris entre 0 et 19 ans. Ceux-ci peuvent être évalués à 8,8 MJ pour l'Enfant de référence (garçon) et à 8 MJ pour l'Enfant de référence (fille)\*.

On en arrive ainsi à la notion d'une hypothétique *Famille de référence*, composée d'un homme, d'une femme et d'un enfant de chaque sexe. Les besoins énergétiques quotidiens d'une telle Famille pourraient être évalués — compte tenu des déchets d'assiette\*\* — à 40 MJ (soit 12,5 MJ + 9,2 MJ + 8,8 MJ + 8 MJ + déchets), soit encore 14.600 MJ par an.

Il nous appartient, à présent, de situer cette Famille de référence dans les conditions économiques les plus simples possibles. Imaginons donc qu'elle vive dans un abri naturel (coût énergétique = 0), sous un climat thermiquement neutre (coût énergétique des vêtements = 0) et que son seul besoin de subsistance soit celui de nourriture (le « combustible » de la machine humaine, évalué à 14.600 MJ par an). En posant que les deux enfants sont à la charge des parents (leur âge moyen est de 9,5 ans), le travail des parents, c'est-à-dire du Couple de référence, doit assurer les besoins alimentaires de toute la Famille. Ce travail du Couple est mesurable sous forme de dépense (ou coût) énergétique.

Plaçons ce Couple de référence en économie céréalière primitive et admettons (pour que la ration alimentaire de la Famille soit équilibrée) qu'il récolte 10.950 MJ de céréales par an et 3.650 MJ d'aliments complémentaires de cueillette, soit au total 14.600 MJ de nourriture (plus la semence pour l'année suivante). D'après nos calculs, très approximatifs (mais basés sur des données plausibles), un tel Couple de référence (dépensant 10,9 MJ + 8,4 MJ par jour « ouvrable », dépensant moins d'énergie le jour de repos hebdomadaire) dépenserait en une année, en se servant de ses seuls « bras », une quantité d'énergie de l'ordre de 8.000 - 8.500 MJ (10). Ainsi — pour qui-

---

\* Moyenne arithmétique des besoins par groupe d'âge (8).

\*\* Evalués à 4 pour cent environ.

conque désirerait analyser la situation plus en détail — l'Homme de référence pourrait consacrer les trois-quarts de son activité professionnelle à l'agriculture céréalière (6 heures par jour) et un quart à la cueillette (2 heures par jour).

La nourriture familiale annuelle (dont le pouvoir énergétique\* équivaut à 14.600 MJ) *coûterait* donc au Couple de référence une quantité d'énergie de l'ordre de 8.000 - 8.500 MJ. La principale notion à retenir ici est le *coût énergétique* de l'énergie elle-même : la seule énergie qui « coûte » est l'énergie physiologiquement dépensée par le Couple, puisque l'énergie solaire, créatrice de nourriture, est gratuite. Grosso modo, dans ces conditions primitives, 1 MJ d'énergie humaine « produirait » environ 2 MJ d'énergie alimentaire brute.

## L'ENERGIE AUXILIAIRE

Au dire de G. Bibby (11), certaines terres alluviales extrêmement fertiles rendaient, dès le deuxième millénaire avant l'ère chrétienne, «33 fois le grain semé». Autrement dit, dans des conditions d'optimisation, le MJ d'énergie humaine produisait sans doute beaucoup plus d'énergie alimentaire que le chiffre énoncé ci-dessus. Pour celui qui désirait s'assurer de bonnes réserves, il était tentant alors de se procurer deux « bras » supplémentaires qui consommaient peu (12,5 MJ pour l'homme de 65 kg) et contribuaient à remplir les greniers. L'esclavage semble être la forme la plus rudimentaire d'acquisition d'énergie auxiliaire.

Il est toutefois plus aisé de maintenir en captivité un animal qu'un homme. L'animal permet, en outre, à l'homme de se déplacer plus vite (équitation), de transporter de lourdes charges (bât), ou d'effectuer aisément de pénibles travaux de traction (trait).

*L'animal.* Si l'on prend l'animal, en tant qu'auxiliaire de l'homme, par exemple dans son activité de traction, on peut en quelque sorte « mesurer » son travail par le coût énergétique de celui-ci : un joule dépensé par l'animal de trait *épargne* un joule à l'homme dans son activité de traction. Ainsi, avons-nous estimé qu'une paire de bœufs de 600 kg ou de chevaux de même poids permettaient à l'homme de multiplier théoriquement sa dépense énergétique propre, respectivement par 12 ou 14 environ (à raison de 6 heures de travail par jour) (10). Le rendement mécanique net (% d'énergie transformée en énergie

---

\* Il s'agit ici d'énergie physiologiquement utile à l'homme.

mécanique, ou travail) de l'homme étant voisin de celui du cheval (environ 25 %) (12), on pourrait déduire de ce calcul que le « travail » mécanique effectué est en proportion directe du coût énergétique, c'est-à-dire que le « travail » mécanique de deux chevaux équivaldrait à environ 14 fois celui de l'homme placé dans les mêmes conditions ; autrement dit, un cheval de 600 kg attelé à une charrue remplacerait 7 hommes de référence.

Qu'en est-il dans la réalité ? Des estimations ont été faites en pays tropical sur le buffle : une paire de buffles permettrait au paysan d'effectuer 4,5 fois plus de travail que s'il était seul (13). Nous ignorons si des mesures semblables ont été effectuées sur les animaux de trait des régions tempérées. Toutefois, la comparaison de nos calculs théoriques avec les valeurs observées dans la réalité attire les remarques suivantes :

- 1) le buffle est un animal moins puissant que le bœuf ou le cheval ;
- 2) les calculs théoriques ont été effectués sur des animaux convenablement nourris ; or, une réduction dans l'apport énergétique, ou encore une alimentation déséquilibrée, peuvent entraîner une diminution du rendement de l'ordre de 20 à 30 %, ou même davantage : si l'animal ne travaille pas faute de nourriture, ce sont les hommes qui doivent tirer la charrue (13) ;
- 3) il n'est pas du tout certain que, sur une moyenne annuelle, les buffles observés travaillaient 6 heures par jour comme c'est le cas dans les calculs effectués sur les bœufs ou sur les chevaux.

Ce n'est pas le chiffre qui importe. Ce que nous pouvons affirmer est que, muni de deux animaux de trait, le paysan peut effectuer entre 4 et — disons 10 — fois plus de travail que s'il était seul. En revanche, ce qui *compte* pour le paysan, c'est le *coût énergétique* du travail de ses animaux de trait, surtout s'il doit acheter, au moins en partie, leur nourriture.

Donc, *en multipliant son propre travail* grâce à l'animal, le paysan — à condition qu'il dispose de suffisamment de terre arable, gratuite à l'origine — assure une productivité très supérieure à la sienne propre. Quant au coût de sa production, il est égal à la somme

- 1) du coût énergétique du travail fourni par le paysan en vue de cette production ;

2) du coût énergétique de l'animal.

*Ces deux coûts énergétiques*, qui sont exprimés en joules, s'additionnent.

*La machine.* Une autre étape, dans la conquête de l'énergie auxiliaire, consista pour l'homme à capter la « force » des eaux et des vents, par exemple pour faire tourner un moulin. L'énergie des eaux, comme l'énergie des vents, est gratuite, ce qui coûte à l'homme est sa propre énergie, dépensée à concevoir et à fabriquer cette machine, à partir du bois (gratuit à l'origine) ou du métal (dont le minerai est gratuit à l'origine). A partir du moment où l'homme conquiert l'énergie du feu, il devient tributaire du métal (à de rares exceptions près) et fait appel à l'énergie fossile (houille, pétrole : biens naturels, théoriquement gratuits avant leur extraction).

Il semble qu'ici deux remarques s'imposent. La première concerne la dépense énergétique du cerveau humain : quelle que soit l'activité de celui-ci, cette dépense est remarquablement constante et représente environ 20 % du métabolisme de base (9), soit environ 1,3 MJ par 24 heures (sous forme de glucose), pour l'Homme de référence FAO-OMS. Autrement dit, la dépense énergétique du cerveau humain qui conduirait un train de marchandises sur un parcours à peu près entièrement automatisé serait tout à fait négligeable par rapport au coût énergétique du train. Cette première remarque conduit à la seconde : il arrive qu'on perde de vue un principe fondamental quand on exprime en pourcentage le rendement d'une machine thermique. En effet, lorsqu'on lui fournit une quantité d'énergie égale à 100, la machine ne rendra jamais *d'elle-même* 15,20 ou 30 % d'énergie sous forme de travail. Le rendement de la machine thermique est nul, à moins que celle-ci soit conduite, dirigée (de près ou de loin) par l'homme. Dans toute machine, il existe toujours une composante, qui est le « travail » du cerveau humain, même si ce seul travail consiste à commander à la main d'appuyer sur un bouton ; même si la machine fonctionne sans intervention humaine (par exemple, une pompe éolienne qui sert à abreuver les animaux), encore faut-il qu'elle ait été conçue, construite, et qu'elle soit entretenue sous la direction du cerveau humain.

Donc, comme ce qu'il est convenu de nommer le « rendement » d'un moteur fait intervenir le travail cérébral — sans toutefois le mesurer — on peut imaginer qu'il en soit de même pour la mesure de tout travail, au sens mécanique du terme. Le rôle du cerveau est de se souvenir, d'organiser les opérations logiques, de coordonner et

de *réduire* progressivement (notamment par l'invention) la dépense énergétique nécessaire à un « travail » donné. Ce rôle est parfaitement traduit par le vieil adage : « à celui qui n'a pas de tête, il faut des jambes » ; en l'extrapolant au plan de l'économie générale, on conclut, avec J. Attali (14) qu'en améliorant l'usage de l'information on peut réduire les dépenses d'énergie.

En fait, il n'existe pas, semble-t-il, de différence fondamentale, du point de vue de l'économie, entre les deux acceptions du terme de « travail », et tout acte économique tend, plus ou moins directement, à transformer n'importe quelle forme d'énergie en énergie mécanique (travail). Tout se passe comme si, de ce même point de vue, toute activité était représentée par la *dépense énergétique* encourue par cette activité, et comptabilisée sous cette forme.

Lorsque l'homme, dans son activité biomécanique (ex. : de traction), fait appel non plus à l'animal mais à la machine (le tracteur), il multiplie son propre travail par 100, 200, 300 ou davantage, selon la puissance du moteur de la machine. Autrement dit, l'activité d'un tracteur équivaut à celle de 100, 200, 300 hommes ou davantage exerçant une force de traction.

S'il est relativement aisé de calculer le coût énergétique du travail de traction de plusieurs centaines d'hommes appartenant à un système économique primitif, il est beaucoup plus difficile d'appréhender le coût énergétique, disons, d'un tracteur. En effet, le coût énergétique de la *production* d'un tracteur comprend les coûts énergétiques partiels de production des métaux constituant le tracteur (le coût du minerai non extrait est *nul* à l'origine), de l'usinage de chaque pièce (comprenant un coût partiel d'amortissement d'autres machines), les coûts énergétiques partiels du travail des ouvriers (mine, métallurgie, assemblage des pièces), mais aussi les coûts énergétiques partiels du travail essentiellement cérébral des ingénieurs, des financiers, de l'administration, etc. et encore une part des coûts énergétiques indirectement impliqués (routes, transports divers...). Comment évaluer, par exemple, le coût énergétique de l'invention de M. Denis Papin, la marmite ?

La réponse n'est simple que dans son principe : lorsque l'homme de Cro-Magnon abat un arbre, son activité exprimée en joules (dépense énergétique) vaut à peu près le double de son activité lorsqu'il trie des fèves (ou ce qui lui tient lieu de fèves). Quant à M. Denis Papin, homme très instruit, sans doute pourrait-on appréhender la valeur de son travail par le coût énergétique de son instruction, ajouté

à sa propre dépense énergétique sous forme d'amortissement. Toutefois, si l'invention de M. Denis Papin (la marmite) ne reçoit pas d'application économique, le travail de cet inventeur ne vaut guère plus que celui de l'homme de Cro-Magnon triant ses fèves. Le « travail » (au sens économique du terme) de M. Denis Papin est, en fait, une parcelle (disons le « brevet ») du travail de toutes les locomotives (et des autoculseurs) en activité : *il ne vaut que par l'énergie captée et transformée en travail.*

Quant au coût énergétique du *travail* effectué par la machine (ici un tracteur), il comprend :

- 1) l'amortissement du coût énergétique de production et le coût énergétique d'entretien ;
- 2) le *coût énergétique* de l'énergie nécessaire au fonctionnement du tracteur, c'est-à-dire le coût partiel du travail de l'ouvrier (le conducteur) et le coût partiel de l'énergie distribuée au moteur.

Si le tracteur fonctionne à l'essence, le coût de cette essence sera le coût partiel d'extraction du pétrole (le coût du pétrole brut non extrait étant *nul* à l'origine) additionné des coûts partiels de raffinage, de transport, de distribution.

Ainsi, le coût énergétique total de la tonne d'essence, dont le pouvoir calorifique moyen est d'environ 10.750.000 kcal 15) (équivalent à 45.000 MJ) devrait être, à la consommation, inférieur à 45.000 MJ ; sinon, toute consommation d'essence entraînerait obligatoirement *une décroissance économique*. Une remarque s'impose ici : il s'agit de distinguer très nettement la valeur (au sens de pouvoir) énergétique d'un produit susceptible de fournir de l'énergie (houille, pétrole, denrées alimentaires) et le coût énergétique de ce même produit (c'est-à-dire l'énergie dépensée pour l'obtenir).

*Les coûts énergétiques.* Tenter de transformer en termes énergétiques les coûts monétaires effectifs des biens et services serait sans doute une opération téméraire car, à part l'air que nous respirons, et (quand il n'est pas nécessaire de se déplacer pour les trouver) les rayons du soleil, il n'est plus guère à présent de biens naturels gratuits. D'autre part, les taxes et subventions diverses viennent fausser les calculs.

Il est sans doute possible, toutefois, d'évaluer les coûts énergétiques *théoriques* des biens et services. Au niveau mondial, la somme

des coûts énergétiques des productions (hommes, animaux de travail\*, machines), y compris les productions intermédiaires, devrait être égale à la somme des consommations finales exprimées en termes identiques (déduction faite du coût énergétique des produits récupérés en vue de productions ultérieures).

Il serait urgent, sans doute, de mettre en œuvre, pendant qu'il en est encore temps, des études sur la dépense énergétique humaine dans les rares mines encore exploitées de main d'homme, les forges, etc... En effet, c'est à partir de telles études qu'il devrait être possible de calculer les coûts énergétiques initiaux de l'énergie fossile (charbon), des métaux, etc., pour en venir progressivement à évaluer les coûts énergétiques des machines.

### CHAINES OPERATOIRES MACHINALES

Le comportement opératoire de l'homme comprend trois plans distincts, qui d'ailleurs se recourent (A. Leroi-Gourhan) (4) :

- « un plan profond, qui intéresse des comportements automatiques directement liés à sa nature biologique » (niveau de l'inconscient) ;
- « un comportement machinal, qui intéresse des chaînes opératoires acquises par l'expérience et l'éducation » (niveau du subconscient) ;
- « un comportement lucide » (niveau du conscient).

Au cours de son sommeil, l'organisme humain présente un comportement quasi automatique où pratiquement seul le métabolisme de base est en jeu (niveau de l'inconscient). Dès que l'homme se réveille, il effectue machinalement et souvent dans le même ordre un certain nombre d'opérations : allumer la lampe, se lever, se rendre à la salle de bains, s'habiller, etc... Il en est de même dans ses activités professionnelles. L'acquisition des « chaînes opératoires machinales » élémentaires « se fait durant la première partie de la vie, sous la triple incidence du dressage par imitation, de l'expérience par tâtonnement et de la communication verbale » (A. Leroi-Gourhan) (4). Il s'agit ici,

---

\* Il y a lieu de noter que les productions d'élevage destinées à la nourriture humaine (œufs, lait, viande) sont à inscrire au poste « Coût énergétique de la nourriture humaine », alors que le coût énergétique des productions d'animaux de travail font partie du poste « Coût énergétique de l'énergie en tant qu'auxiliaire de l'homme » (sauf pour la part de ce coût qui sert, en ressort, à la nourriture de l'homme ou de l'animal carnivore).

pour ce qui est de l'activité professionnelle notamment, de « chaînes de gestes stéréotypés » (niveau du subconscient), mais auxquelles l'intervention lucide (niveau du conscient) participe : « la lucidité suit une sinusoïde dont les creux correspondent aux séries machinales alors que les sommets marquent les ajustements des séries aux circonstances de l'opération » (4).

Certaines chaînes opératoires machinales sont pratiquement universelles. Ainsi, à la coupe de cheveux homme, correspond une chaîne de gestes stéréotypés ne nécessitant que peu d'intervention lucide (Comment faut-il vous les couper ?), qui s'écoule en 20 minutes, que ce soit à Paris, à New York ou à Moscou (J. Fourastié) (16). Cette durée est vraisemblablement la même dans les pays à technologie peu avancée, à condition toutefois que la coupe de cheveux y corresponde aux mêmes critères — aux mêmes normes — que dans les pays développés.

Si la dépense énergétique d'un homme de 65 kg, dans sa profession de coiffeur, est de 10,5 kilojoules par minute\*, la coupe de cheveux demandera au coiffeur une dépense énergétique de 210 kJ, dans n'importe quelle ville du monde.

Dans l'industrie notamment, certaines chaînes opératoires machinales ont été hautement perfectionnées, ici par M. Taylor, là par M. Stakhanov, au point de devenir quasi automatiques et d'atteindre un niveau proche de celui de l'inconscient. C'est le cas de Charlot, dans « Les Temps Modernes » serrant un boulon, toujours le « même », sur une chaîne de fabrication. La conduite logique de l'opération est :

- 1) arrivée du boulon ;
- 2) serrage du boulon.

L'opération 2 est conditionnée par l'opération 1 qui constitue une *contrainte logique*.

Si Charlot ne parvient pas à suivre le rythme d'arrivée des boulons, il devra se déplacer le long de la chaîne, dans le même sens que celle-ci, pour combler son retard, et, si le retard est trop grand, Charlot ne parviendra plus à serrer ses boulons ; mais il dépensera néanmoins autant d'énergie (sinon davantage) que lorsqu'il les serrait. Si les boulons ne sont pas serrés, Charlot aura dépensé son énergie en pure perte, et son travail ne sera plus *échangeable*.

---

\* Evaluation établie sur la base des travaux de J.V.G.A. DURNIN ET R. PASMORE (9) (p. 61).

Au contraire, tant que Charlot serre ses boulons selon la *norme* prévue, son travail demeure échangeable. La dépense énergétique de Charlot peut être estimée voisine de 14,6 kJ-min (3,5 kcal)\*, soit environ 7 MJ pour un travail d'une durée de 8 heures. L'activité professionnelle est ici un peu plus élevée que celle de l'Homme de référence. Si l'on admet que le coût énergétique du travail professionnel du serreur de boulons est de 12 MJ par jour ouvrable, en divisant ce chiffre par le nombre de boulons serrés en 8 heures, on obtient le coût du travail échangeable par boulon (il n'y a pratiquement pas ici de coût d'apprentissage et le serreur peut très bien se trouver illettré).

### L'ANALYSE DE RESEAUX

Dans la vie quotidienne, les tâches, professionnelles ou autres, ne sont souvent ni aussi simples ni aussi uniformes et monotones que celle-ci. Quant à l'activité du « Personnage » économique — c'est-à-dire l'ensemble des tâches professionnelles — celle-ci apparaît comme aussi complexe que le système neuro-musculaire lui-même. Pour l'appréhender, il est cependant une méthode (applicable elle-même au système neuro-musculaire ?), c'est la méthode de l'analyse de réseaux (*network analysis*), connue encore sous le nom de méthode P.E.R.T. (17). Elle est en usage, notamment, chez les directeurs de projets, les chefs d'entreprise. Cette méthode consiste à « mettre en ordre, sous forme de réseau, plusieurs tâches qui, grâce à leur dépendance et à leur chronologie, concourent toute à l'obtention d'un produit fini » (P. Poggioli) (17).

L'exemple le plus connu de cette méthode est la préparation d'une tasse de thé. Cette opération consiste à : 1) allumer le gaz, 2) remplir une casserole, 3) chauffer l'eau. *Pendant* que l'eau chauffe, il faut encore : 1) prendre la théière, 2) prendre la boîte à thé, 3) mettre le thé dans la théière. Quant à la tâche qui consiste à ajouter l'eau aux feuilles de thé, celle-ci ne peut-être réalisée que lorsque les tâches précédentes sont accomplies. Il reste encore à prendre une tasse, une soucoupe, ensuite le lait, etc...

Dans tout réseau, il existe des activités critiques, contraignantes, celles qui ne laissent aucune marge de manœuvre. La séquence d'ac-

---

\* Cf. J.V.G.A. DURNIN, R. PASSMORE, *op. cit.*, p. 54 : valeur établie pour un homme de 65 kg.

tivités critiques, depuis l'événement initial jusqu'à l'événement final, détermine le *chemin critique*.

Or, à toute activité (homme, animal, machine) correspond 1) une dépense d'énergie, 2) une durée. L'analyse de réseaux permet de mesurer l'activité de l'homme et de ses auxiliaires (animaux, machines) sous forme de quantités d'énergie dépensées au cours d'une période déterminée qui peut aller de la seconde à plusieurs années. L'analyse de réseaux permet en outre de « mettre en ordre » les tâches, par la détermination des chemins critiques, fondement de l'épargne d'énergie et de temps. L'action sur l'énergie et sur le temps est, en effet, à la base de l'accroissement de la productivité.

Nous avons tenté de mesurer l'activité économique, sous forme de joules dépensés au cours d'intervalles de temps successifs (qui se superposent, car cette activité met en œuvre ici deux personnes), dans un exemple simple : la préparation du repas dans une famille primitive vivant de cueillette (10). Les programmes de construction de réseaux plus complexes nécessitent l'intervention de spécialistes et d'ordinateurs.

L'analyse des réseaux de « chaînes opératoires machinales » conduit sans doute à assimiler quelque peu l'homme à une mécanique bien ordonnée et bien rodée. La mesure des dépenses énergétiques (ou coûts énergétiques) s'applique essentiellement à des processus à peu près identiques et reproductibles, qui peuvent être appréhendés au moyen des méthodes statistiques. La statistique permet encore d'évaluer la durée et le coût énergétique d'une tâche donnée selon qu'elle est accomplie par des « champions », ou à l'opposé par des apprentis, des lents, des maladroits. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, la durée de la coupe de cheveux pourrait être réduite à 10-15 minutes chez les champions de la coiffure, et se prolonger, au contraire, de 5 à 10 minutes chez les moins habiles.

## ETALON MONETAIRE

Somme toute, le problème de la « mesure invariable de la valeur » des produits pourrait se ramener à répondre à deux questions :

- 1) Quelle est la source des richesses économiques ?  
— C'est le travail.
- 2) Comment mesure-t-on le travail ?  
— En joules.

En réalité, le seul travail qui puisse être mesuré directement en joules est le travail au sens physique du terme (énergie mécanique). Mais le travail, au sens économique du terme (activité professionnelle), peut néanmoins se mesurer sous forme d'énergie dépensée. Encore faut-il qu'il corresponde à certains critères, soit que l'objet à produire réponde à des normes de qualité, soit que le « producteur » lui-même ait les capacités requises (normes vérifiées à l'aide de tests, d'examens). Ces critères, ces normes font que l'énergie dépensée est transformée en travail *échangeable*.

La valeur énergétique de l'énergie (ex. : pouvoir calorifique du charbon) est exprimable en joules ; elle est, à quelques variations près, constante. Il n'en est pas de même pour le coût énergétique de cette même énergie et pour la plupart des coûts énergétiques. Il suffit, par exemple, d'inventer une technique qui permette de réduire de moitié le temps de fabrication d'un produit, à dépense d'énergie constante, pour abaisser de moitié le coût énergétique de ce produit. Ainsi, selon J. Fourastié (16), « souvent dans une même région et dans une même ville, on observe des productivités variant du simple au double, et parfois au triple ou au quintuple d'une entreprise française à une autre entreprise française ».

L'accroissement de la productivité se ramène en fait, d'une part, à augmenter le rendement, c'est-à-dire à produire — à dépense d'énergie constante — en un temps moindre (en changeant de technique, en usant d'un chemin critique privilégié...) et, d'autre part à capter et, à utiliser davantage d'énergie (ex. : par la fertilisation et l'irrigation, à mieux utiliser l'énergie solaire). Comme ces deux méthodes sont le plus souvent combinées, l'accroissement de la productivité revient en fait à *utiliser au mieux toujours plus d'énergie*.

Si l'énergie dépensée pour accomplir un travail donné est mesurable en joules, c'est la pratique de l'échange qui permettra de déterminer, en fait, dans quelle mesure un « travail » est égal à un autre « travail », que ce soit par contrainte (décret) ou par consentement mutuel (offre et demande). En outre, le problème de la rareté vient fausser le jeu « naturel » des échanges.

Aussi apparaît-il nécessaire de définir — à la façon du mètre en platine iridié, qui fut longtemps l'étalon de mesure de la longueur — *un étalon (provisoire) de mesure du travail échangeable*, c'est-à-dire, en fait, pour les sociétés vivant en économie monétaire, un étalon « monétaire ».

Cet étalon de la « mesure invariable de la valeur » doit répondre à certaines conditions :

- 1) il doit varier aussi peu que possible (être « invariable ») ;
- 2) il doit être universel, donc fondé sur le travail humain ;
- 3) puisque le travail, humain ou autre, est lié directement à la dépense énergétique, il doit être en corrélation avec une quantité d'énergie dépensée.

Définir cet étalon revient, en fait, à définir la dépense d'énergie d'un individu d'un poids moyen déterminé (puisque la dépense varie selon le poids) dans une activité déterminée.

Prenons, par exemple, l'activité échangeable (la norme consiste à placer des lettres dans un ordre défini) d'une femme de 55 kg tapant à la machine électrique 40 mots-minute. Celle-ci dépense, en moyenne, une quantité d'énergie qui varie peu, 1,5 kcal-min (6,3 kJ-min) (9). Mais, d'une part, cet étalon ne sera pas universel (il existe des peuplades illettrées) et, d'autre part, personne ne peut assurer que la technique de frappe, ou la machine elle-même, ne seront un jour davantage perfectionnées.

L'activité humaine — universelle — qui subit le moins de variations, parce qu'elle est automatique (niveau de l'inconscient) est celle du métabolisme de base. Pour un homme de 65 kg, la dépense énergétique du métabolisme de base est de 1,08 kcal-min (4,52 kJ-min), avec une erreur de  $\pm 15\%$  (9) (8), ce qui fait en moyenne, par 24 heures, 1.555 kcal ou encore 6,5 MJ.

Le métabolisme de base d'un être vivant correspond à un travail aussi complexe que bien défini : c'est la somme de travail cellulaire qui permet l'entretien de la vie, au repos (dans des conditions assez précises, mais quelque peu arbitraires : à jeun, en état de repos physique et mental, à la température de 20 °C) (18). Pourquoi choisir le métabolisme de base de l'homme de 65 kg ? Parce qu'il est celui de l'Homme de référence FAO-OMS, et l'on pourrait prendre aussi bien celui de la Femme de référence : « il s'agit d'individus hypothétiques, d'âge, de masse corporelle et d'activité physique donnés, choisis dans le but de calculer les besoins énergétiques des populations, après corrections appropriées selon les poids corporels, les genres d'activités et la structure d'âge » (8). Cet étalon de la valeur d'échange n'est variable qu'en fonction de la précision dans les mesures à venir (et, le cas échéant, des conditions, peu variables elles-mêmes,

dans lesquelles ces mesures sont faites), d'un changement possible dans la définition de l'Homme de référence (surface corporelle, notamment), ou encore d'une évolution hypothétique du métabolisme basal de l'homme.

*L'Unité de compte (U.C.)*, unité du travail échangeable sur le plan universel, équivaldrait donc à la *quantité d'énergie dépensée par l'Homme de référence FAO-OMS pour maintenir son métabolisme de base*. Ainsi, en se pliant aux normes de sa profession, l'Homme de référence modérément actif effectuerait, en moyenne, par jour ouvrable, un travail dont la valeur d'échange\* serait estimée égale à 1,67 U.C. (soit 10,9 MJ d'énergie brute échangeable)\*\*. Celui de la Femme de référence modérément active vaudrait 1,29 U.C.\* (soit 8,4 MJ d'énergie brute échangeable)\*\*\*.

oOo

En fin d'analyse, la nutrition humaine apparaît ainsi comme la plaque tournante de toute activité économique. L'homme est-il donc « la mesure de toutes choses » ? On serait tenté de rejoindre ici l'opinion de Protagoras et de ses adeptes. Le philosophe, il est vrai, était allé beaucoup plus loin dans son enseignement, puisqu'il précisait : « L'homme est la mesure de toutes choses : de celles qui sont en tant qu'elles sont, de celles qui ne sont pas en tant qu'elles ne sont pas » (19), ouvrant ainsi la voie à toutes les réflexions.

oOo

*Nous tenons à remercier pour leurs précieux conseils le Professeur R. JACQUOT et le Médecin Général A. RAOULT, la Comtesse I. de DOMINI, ainsi que M.H. BOUMENDIL, M.P. FRANÇOIS, M.I. de GARINE, M.R. GINDT, M.F. MENGIN et M.J. PERISSE qui, à travers leur discussion, nous ont apporté d'intéressantes suggestions. Nous tenons à souligner, d'autre part, que leur collaboration ne les engage en rien vis-à-vis des idées émises dans cette communication.*

---

\* Il s'agit ici d'une valeur minimale, celle d'un adulte illettré ne se servant que de ses bras.

\*\* Pour la valeur d'échange de la *semaine* de travail, il faudrait tenir compte de l'énergie brute dépensée le jour de repos hebdomadaire.

\*\*\* Que les personnes du sexe « faible » se rassurent : avec l'industrialisation (captation d'énergies autres que celle de la nourriture humaine) ces différences s'amenuisent au point de devenir négligeables.

BIBLIOGRAPHIE

1. MATOUK J. — Léontieff : Comment l'économie devint transparente. *Les informations*, 1973, n° 1487, pp. 108-116.
2. ROBINSON J. — *Hérésies économiques*. CALMANN-LEVY, 1971, note p. 82.
3. RUEFF J. — *Les Dieux et les Rois. Regards sur le pouvoir créateur* (3<sup>e</sup> éd.). Hachette, 1968, p. 69.
4. LEROI-GOURHAN A. — *Le geste et la parole*. Ed. ALBIN MICHEL, 1965, vol. 2, p. 26 et suivantes.
5. SALLES P., WOLFF J. — *Hommes, besoins, activités*. Préface de H. GUITTON. Dunod, 1971, tome I, note p. 57.
6. ORGANISATION DES NATIONS UNIES. Déclaration universelle des droits de l'homme. Dept. de l'Information, O.N.U., 10 déc. 1948, Article 23.2.
7. PERRoux F. — Economie et société : Contrainte, échange, don. P.U.F., 1963, p. 18.
8. FAO\*·OMS\*\* — Besoins énergétiques et besoins en protéines. Rapport d'un comité spécial mixte FAO-OMS d'experts. Réunions de la FAO sur la nutrition, Rapport n° 52. OMS : Série de rapports techniques n° 522. Rome-Genève, 1973 (en particulier, chap. 5 et Annexe 5).
9. DURIN J.V.G.A., PASSMORE R. — *Energy, Work and Leisure*. HEINEMANN (Londres), 1967.
10. JARDIN Cl. — Supplément à l'Economie de Xénophon — Essai sur le fondement et la mesure de l'économie (*à paraître*, 4<sup>e</sup> trimestre 1974, chez l'auteur : Le Saint-Nicolas, rue Crinas prolongée, 13007 Marseille).
11. BIBBY G. — *Le millénaire retrouvé*, Plon, 1961, p. 23.
12. BRODY S., TRAWBRIDGE E.A. — *Bull. 383, Coll. Agric. Univ. Missouri*, 1937 ; CH. KAYSER : Physiologie. Flammarion, 1963, tome 2, p. 1027 et suivantes (P. DEJOURS : Exercice musculaire) ; HOUSSAY B.A., LEWIS J.T. et al. : Physiologie humaine. Flammarion, 1950, tome 1, p. 735.
13. CEPEDÉ M., GOUNELLE H. — *La faim*. Coll. « Que sais-je ? », n° 719, 1967, p. 96.
14. ATALI J. — Un substitut à l'énergie : la communication. *Le Monde*, 22 fév. 1974.
15. MAILLET P. — *L'énergie*. Coll. « Que sais-je ? », n° 648, P.U.F., 1966, p. 75.
16. FOURASTIE J. — *La productivité*. Coll. « Que sais-je ? », n° 557, 1971, pp. 9, 17 et 109.
17. MORANGE P. — *Projet informatique et méthode Pert*. Coll. « La vie de l'entreprise ». Dunod, 1969 ; POGGIOLI P. — *La méthode Pert*. Coll. « Pratique de... ». Les Editions d'Organisation, Paris, 1970 ; FAO — *Analyse de graphes à l'usage des directeurs de projets de la FAO et de leur personnel*, Rome, 1971.
18. DOCUMENTA GEIGY — *Tables scientifiques* (6<sup>e</sup> éd.). J.R. GEIGY, S.A. Bâle (Suisse), 1963, p. 637.
19. DIOGENE LAERCE — *Vie, doctrines et sentences des philosophes illustres* (textes de R. GENAILLE). Garnier-Flammarion, 1965, p. 185.

---

\* Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

\*\* Organisation mondiale de la santé.

**UNE NOUVELLE CYMBELLA (DIATOMOPHYCEES)  
DES TRAVERTINS ACTUELS DE BAND I AMIR (AFGHANISTAN)**

PAR

Jean-François PIERRE

RESUME

**A** Description en microscopie optique et électronique à balayage de *Cymbella cistula* (Hempr.) Grun. var. *amirensis* nov. var. des dépôts actuels de travertins du lac de Band I Amir (Afghanistan central). Relations avec les espèces voisines.

SUMMARY

A new diatom, *Cymbella cistula* (Hempr.) Grun. var. *amirensis* nov. var., from actual deposits of Band I Amir Lake (Afghanistan) is examined by means of light and scanning electron microscopes. Relationships to other species of the same genus.

Les Algues de l'Afghanistan ont jusqu'à présent été fort peu étudiées : SCHAARSCHMIDT (1886) cite 22 Diatomées. Plus récemment, FOGED (1959), HIRANO (1964-1966) et nous-même (LANG et PIERRE 1974) ont poursuivi l'inventaire systématique des Diatomées de ce pays.

Une variété de *Cymbella cistula* (Hemprich) Grunow non encore décrite a été découverte au cours de l'étude des Diatomées des travertins lacustres actuels de Band I Amir, et étudiée en microscopie optique et électronique à balayage.

*Description systématique :*

*Cymbella cistula* (Hemprich) Grunow var. *amirensis* nov. var.

Frustule dissymétrique, bord des valves fortement convexe du côté dorsal, côté ventral bombé, extrémités brièvement étirées, Raphé à peine courbé, double, ondulé, avec une gouttière interne peu marquée. 3 à 4 (5) pores sur le côté ventral de l'aire axiale. Stries ponctuées, divergentes puis convergentes vers les extrémités, dans la région médiane 10 en 10  $\mu\text{m}$  du côté dorsal, 12 en 10  $\mu\text{m}$  du côté ventral. Les dimensions de l'hotype sont : longueur 28  $\mu\text{m}$ , largeur 11  $\mu\text{m}$ .

Séance du 14 juin 1973.

Diffère de *C. cistula* var. *convexa* Hustedt par le frustule beaucoup plus convexe, la présence de 3 à 4 (5) pores sur l'aire axiale ventrale et par des dimensions nettement inférieures.

*Differt a C. cistula* (Hemprich) Grunow *frustulo valde convexiore, 3-4 (5) poris in frontis ventralis area centrali instructo atque demensionibus distincte minoribus.*

Holotype : préparation L. 333/1 de l'auteur.

Iconographie : Photographies en microscopie optique et électronique à balayage.

Localité type : travertins lacustres actuels du lac de Band I Amir, dans la région centrale d'Afghanistan. Altitude 3 000 m, eaux froides, été court et frais, hiver long, enneigé.

*Cymbella cistula* s'avère morphologiquement très plastique et il apparaît difficile de définir les limites entre espèce et variétés (HUFFORD et COLLINS 1972, a, b) notamment par suite des différences d'aspect en microscopie optique et électronique. Cependant, dans l'esprit des travaux de HUSTEDT, *C.c.* var. *amirensis* peut être considérée comme un stade extrême d'évolution morphologique dans la série *C. cistula* → *C. cistula* var. *gracilis* Hust. → *C. cistula* var. *convexa* Hust. tandis que les 3 à 4 pores de l'aire ventrale évoquent la structure de *C. cistula* var. *fastigata* Krasske (HUSTEDT 1942, 1955).

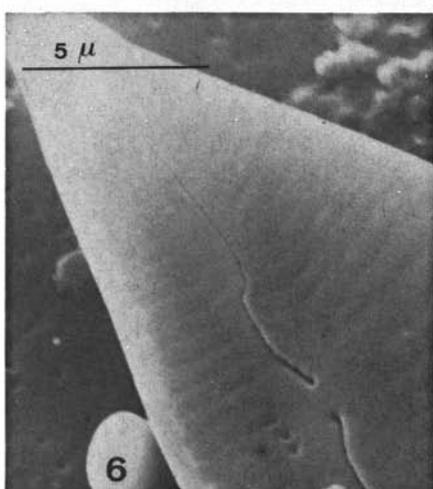
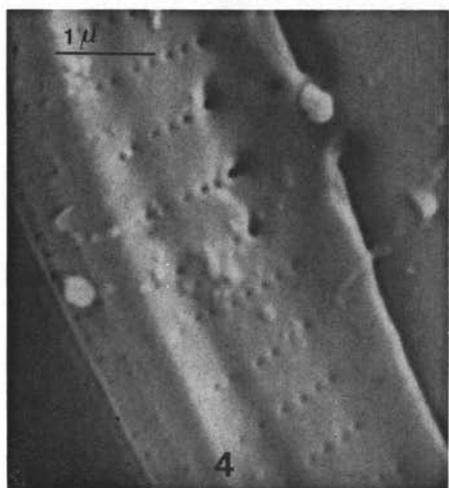
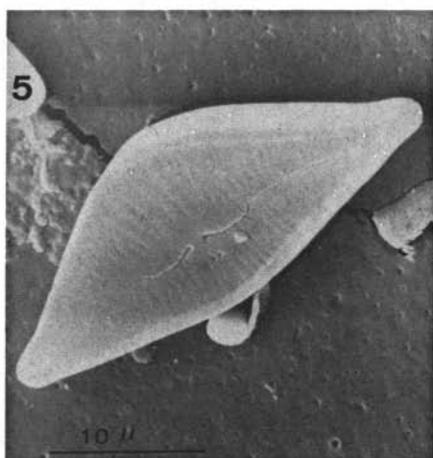
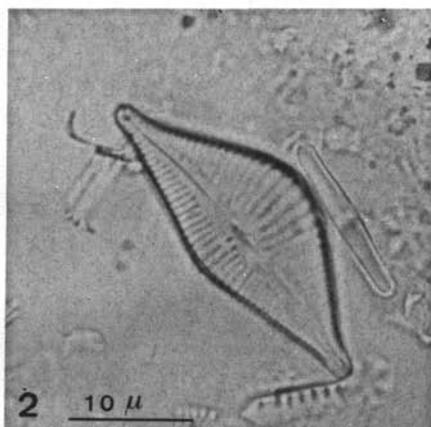
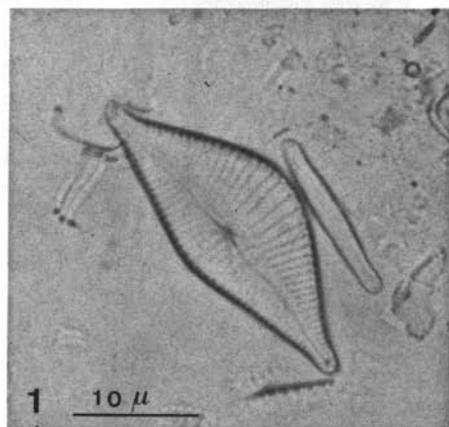
Une identification à *C. balatonis* Grun. (A. CLEVE EULER 1955) est tentante par suite de la similitude du contour, de l'aire axiale et du raphé, mais taille et structure en sont trop différentes.

Dans la même région, FOGED (1959) a décrit une nouvelle espèce de *Cymbella*, *C. koeiei* Foged. Nous même avons fréquemment rencontré ces espèces en mélange, et nous les distinguons par leurs dimensions, les rapports longueur : largeur, ainsi que par le contour de l'aire axiale et le tracé de la fente raphéale que le MEB met particulièrement bien en évidence. (fig. 3 à 6).

#### REMERCIEMENTS

J'adresse de vifs remerciements à M. P. BOURRELLY du Museum National d'Histoire naturelle de Paris, à M. R. MAILLARD, d'Evreux, pour les documents qu'ils ont mis à ma disposition, à M. le Professeur WERNER (Nancy) qui a rédigé la diagnose et à M. J. LANG, de l'Université de Paris VI pour m'avoir procuré le matériel objet de cette étude.

U.E.R. Sciences Biologiques  
Université de Nancy I  
Case Officielle 140  
54037 NANCY CEDEX  
FRANCE



BIBLIOGRAPHIE

- CLEVE EULER A. — 1955. Die Diatomeen von Schweden und Finnland. IV. *Kungl. Sv. Vet. Akad. Handl., Fjärde Ser.*, 5, 4.
- FOGED N. — 1959. Diatoms from Afghanistan. *Det. Kong. Dansk. Vidensk. Sel.* 11, 1-95, 13 p.h.t.
- HIRANO M. — 1964. Freshwater algae of Afganistan. *Kyoto Univ.*, 78 pp.
- HIRANO M. — 1964. Freshwater algae from northeastern part of Afghanistan. *Kyoto Univ.*, 39 pp.
- HUSTEDT F. — 1942. Susswasser Diatomeen des indomalayischen Archipels und der Hawaii-Inseln. *Internat. Rev. Hydrobiol. u. Hydrogr.*, 42.
- HUSTEDT F. — 1955. Neue und wenig bekannte Diatomeen. 8. *Abh. naturw. Verein Bremen*, 34, 1, 47-68.
- HUFFORD T.L. et COLLINS G.B. — 1972. Some morphological variations in the diatom *Cymbella cistula* *J. Phycol.*, U.S.A., 8, 2, 192-5.
- HUFFORD T.L. et COLLINS G.B. — 1972 b. The freshwater diatom *Cymbella cursiformis* nom. nov. *J. Phycol.*, U.S.A., 8, 2, 184-7.
- LANG J. et PIERRE J.F. — 1973. Contribution à l'étude des Diatomées de quelques dépôts carbonatés actuels hydrothermaux et lacustres de l'Afghanistan Central. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sci.*, 1974, 12, 1, 39-51, 3 pl. h. t.
- SCHAARSCHMIDT. — 1886. Notes on Afghanistan Algae *Journ. Linn. Soc. Bot.*, London, 21, 241-50.

LEGENDES DE LA PLANCHE

Fig. 1 et 2

*Cymbella cistula* (Hemp.) Grun. var. *amirensis* nov. var.

Fig. 3 et 4

*C. koeiei* Foged (MEB)

Fig. 5 et 6

*C. cistula* var. *amirensis* (MEB)

PROCES VERBAL DE LA SEANCE DU 14 MARS 1974

---

Présidence : MM. WERNER (V.P.) et BERNA (V.P.).

Membres présents : MM. ANZIANI, BERTAUX, Mme BOUCHET, MM. CAMO, CEZARD, DURAND, FERACCI, GABRIEL, Georges GUY, JACQUEMIN, LARCHER, LE DUCHAT d'AUBIGNY, MAUBEUGE, MOREL, PERCEBOIS, PIERRE, THIRION, TOMMY-MARTIN, en outre, quelques auditeurs non membres (3).

Excusés : Mlle BESSON, le Président M. VILLEMIN, M.J.M. HANUS, de LAVERGNE.

Nouveaux membres, présentés à la dernière séance : MM. GAGNY et NABET, admis à l'unanimité.

Membre présenté : Dr J.P. NICOLAS, Professeur Agrégé à la Faculté de Médecine, par MM. PEROT et PERCEBOIS.

M. WERNER, présidant la séance, fait part de la promotion de M. MAUBEUGE dans l'ordre des Palmes Académiques (Officier). Au nom de la Société, il adresse ses félicitations à M. MAUBEUGE.

Le Secrétaire général présente un travail de M.G.H. PARENT : « Ardenne et Gaume. Les sites Jean MASSART du Bas Luxembourg » ; il signale, d'autre part, le renouvellement de la subvention attribuée à notre Compagnie, par le Conseil général de la Moselle ; il attire l'attention sur le fait que le Parlement aura à se prononcer sur un projet de Loi relative à la Protection de la nature, ce qui entraîne de nombreuses interventions, en particulier de MM. WERNER, BERTAUX et du Président CAMO, ce dernier suggérant que la Société des Sciences, ou ses membres à titre individuel, prennent position, à ce sujet, auprès de nos Députés. Les projets de textes avaient préalablement été communiqués à l'Assemblée présente.

Communications : M.C. THIRION présente « quelques applications du dichroïsme circulaire à l'étude de substances biologiques ».

MM. GABRIEL et M.D. LARCHER : « Dichroïsme circulaire magnétique ; utilisation pour l'étude de substances d'intérêt biologique. » Les auteurs rapportent que, seuls parmi les acides aminés, tyrosine et tryptophane ont un dichroïsme circulaire magnétique intense. Ceci permet de déterminer le nombre de tryptophane présent dans une protéine, sans la dénaturer. Cette communication est suivie de questions posées par M. BERNA, sur les possibilités de dosage en milieu plasmatique, de M. WERNER, en ce qui concerne le rôle du pH. M.G. BAUMANN et M.J.F. PIERRE : « une application hydrobiologique des méthodes d'analyse des séries chronologiques. » Habituellement appliquée à des problèmes économiques, cette méthode est utilisée ici à l'étude d'une population d'algues apparues en très grande abondance, dans la Moselle, en mai-juin 1971. La chaleur constante, l'excédent de substances nutritives n'expliquent pas, seules, ce phénomène. Le Pr WERNER échange avec le présentateur des hypothèses concernant la nature du facteur responsable. MM. J.F. PIERRE, G. KILBERTUS, O. REISINGER présentent des « observations ultra structurales des phases fondamentales de la biodégradation des algues dans un éco-système aquatique ». Ce travail montre l'action de Diatomées et de Bactéries sur des Algues (Enteromorpha) recueillies à Marsal. Les mécanismes de biodégradation en milieu aquatique, mis en évidence pour la première fois, sont semblables à ceux qui se passent dans le sol.

Etant donné l'heure tardive, les communications de M.J.P. BERTAUX : Hydrologie antique de Grand (Vosges). Bilan de dix années de recherches spéléo-archéologiques ; MM. G. DEMATHIEU et M. DURAND : A propos de quelques traces de pas et figures sédimentaires dans le Buntsandstein supérieur du SW des Vosges, prennent date, mais seront présentées à la prochaine réunion.

La conférence de M. Jean SCHWARTZKOPFF est intitulée : Roches, minéraux et lapidaires. L'aspect technique est tout d'abord évoqué ; les gemmes : pierres précieuses et semi-précieuses, serties en montures, puis les pierres ornementales, sont décrites ; de même, diverses catégories de lapidaires sont définies : diamantaires, juifs, par tradition, de New-York, Amsterdam, d'Israël, lapidaires à la florentine, etc. Puis, le conférencier s'attarde sur l'aspect culturel et sentimental de la pierre ; « expression d'une époque et d'un terroir », aspects différents de la pierre nue et de la pierre habillée, « le pays celte étant le pays de la pierre nue où s'exprime le graphisme ».

Cette très intéressante causerie est suivie de très nombreuses interventions de : Mme BOUCHET à propos des lapidaires exerçant à Saint-Claude, sur la formation professionnelle du lapidaire ; de MM. LE DUCHAT d'AUBIGNY, WERNER, MAUBEUGE, BERTAUX, sur les procédés de polissage, anciens et actuels ; du Colonel FERACCI, sur le travail des camées, de M. CAMO, qui fait l'éloge de l'atelier de M. SCHWARTZKOPFF, situé à Lupcourt.

La séance est levée à 19 heures.

Il n'y a pas eu de séance en avril.

#### RAPPORT FINANCIER

Bilan au 31.12.73

ACTIF		PASSIF	
En caisse au 01.01.73	4547	Frais de bulletin	19769
Cotisations	3772	Frais de bureau	89
Abonnements	985	Divers	223
Publicité	560		
Dons et revenus de fondation	429		
Subventions municipales et départementales	5250		20081
Remboursement de tirés à part et clichés	7359	Solde créditeur	2821
	<u>22902</u>		<u>22902</u>
En recouvrement :		A payer :	
Subvention Université de NANCY I	4000	1973, Tome 12, fasc. 2	8850
Remboursement tirés à part et clichés	4870	1973, Tome 12, fasc. 3	7101
	<u>11260</u>	1973, Tome 12, fasc. 4	7000
Déficit	11260	(estimation)	
	<u>43032</u>		<u>43032</u>

Certifié conforme aux écritures,  
le Trésorier  
Jean-François PIERRE