

# **Académie & Société Lorraines des Sciences**

**ANCIENNE  
SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY**

fondée en 1828

**BULLETIN  
TRIMESTRIEL**

**1965**

**TOME 5 - NUMÉRO 4**

**BULLETIN**  
**de l'ACADÉMIE et de la**  
**SOCIÉTÉ LORRAINES DES SCIENCES**

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

SIEGE SOCIAL :

Institut de Biologie, 28 bis, rue Sainte-Catherine - NANCY

**SOMMAIRE**

Constant BURG. — Retombées atomiques et pollution atmosphérique . . . . .	131
P. FLORENTIN et C. CHARDOT. — Le problème des cancers latents : Perspectives actuelles . . . . .	<del>140</del>
D. OTH, J. ROBERT, C. BURG. — Méthode de mesure de la radiosensibilité des tumeurs solides - Application à des phénomènes de synergie entre agents pharmacologiques et Rayons X . . . . .	<del>152</del>
Alexandre KAPLAN. — XV <sup>e</sup> Congrès International d'Astronautique de Varsovie . . . . .	<del>168</del>
J. BOLFA, J. BABKINE, J.C. REITHLER et C. ZELLER. — Le magnétisme des roches . . . . .	186
E.F. DEBAZAC. — Morphogenèse et sexualité chez les Pinacées . . . . .	<del>212</del>
G. DESCOUTURELLE et R. FRENTZ. — Microhétérogénéité des fractions protéiques de l'hémolymphe de <i>Carcinus maenas</i> L. décelée par l'étude de leur mobilité électrophorétique en gel de gélose . . . . .	<del>229</del>
Pierre L. MAUBEUGE. — Quelques observations sur le Bajocien dans le Jura suisse septentrional . . . . .	237
Pierre L. MAUBEUGE. — Le problème des faunes cosmopolites dans le jurassique meso-européen : Absence d'espèces d'ammonites américaines dans le Jura suisse septentrional . . . . .	243

Pierre L. MAUBEUGE. — Une coupe géologique continue dans le Jurassique inférieur du Jura tabulaire d'Argovie (Suisse) .....	247
Dr ABDUL HABIB DEL. — L'action hypotensive de la salive chez le chien..	255
Jean PELTIER. — Energie et matière .....	<del>258</del>
R. LIENHART. — A propos des théories de Lyssenko .....	267
R. LIENHART. — En souvenir de M. le Chanoine Maurice Manquat (1877-1964) .....	277
Robert CÉZARD. — Orobanchacées: I. Culture expérimentale .....	<del>279</del>
E. BOUILLON. — Quartzites taillées et grattoir-burin en silex paléolithiques à Flavigny-sur-Moselle .....	286
André VEILLET et François GRAF. — Inversion sexuelle et glande androgène chez quelques crustacés .....	<del>295</del>

---

# RETOMBÉES ATOMIQUES ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE (\*)

par

Constant BURG

---

## I. — Introduction.

La radioactivité atmosphérique a pris une importance considérable au cours des quinze dernières années à la suite des essais d'engins nucléaires effectués dans l'atmosphère.

La grande presse et l'opinion publique se sont emparées du problème en lui donnant souvent un caractère passionnel.

D'un autre côté, les physiciens et les chimistes se sont penchés sur la question, et chacun, dans sa spécialité et suivant les possibilités de ses techniques, a étudié en détail un aspect plus ou moins fragmentaire du problème, donnant naissance ainsi à un nombre impressionnant de documents, de faits et de chiffres.

Il en est résulté une confusion extrême rendant très difficile toute vue d'ensemble de la question.

En fait, le problème est plus simple qu'il ne paraît. Il suffit de l'aborder en gardant présent à l'esprit quelques notions fondamentales.

Tout d'abord, il faut se souvenir que la radioactivité atmosphérique ne résulte pas seulement de la présence de produits de fission provenant d'engins nucléaires, mais qu'elle résulte également d'une radioactivité d'origine naturelle.

Cette dernière existe depuis l'origine des temps et l'homme y est soumis depuis toujours. Elle constitue de ce fait un excellent critère de

---

(\*) Note présentée à la séance du 12 mars 1964.

comparaison pour juger de l'effet biologique possible de tout apport radioactif nouveau dans l'atmosphère (produits de fission par exemple) et avant de porter une estimation quelconque dans ce domaine, il faudrait toujours s'y rapporter.

D'autre part, on sait que la radioactivité atmosphérique peut nuire à l'organisme humain par deux processus différents.

Cette radioactivité peut agir par irradiation externe ou par irradiation interne.

Dans chaque cas, son action biologique dépendra d'un grand nombre de paramètres physiques et chimiques, dont l'étude complète est excessivement difficile.

En fait, il existe une manière beaucoup plus simple d'estimer les dangers de la radioactivité atmosphérique. Il suffit de mesurer directement au niveau des organes humains les doses d'irradiation, qui en sont la conséquence.

Nous verrons que cette façon de procéder simplifie considérablement les données du problème.

\*  
\* \*

## II. — Origine et nature de la radioactivité atmosphérique.

### a) RADIOACTIVITÉ ATMOSPHÉRIQUE NATURELLE :

La radioactivité atmosphérique naturelle a deux origines très différentes.

Elle peut provenir d'un gaz radioactif, le Radon, ou être le fruit de réactions nucléaires entre le rayonnement cosmique et les éléments présents naturellement dans les gaz de la haute atmosphère.

#### — *Radioactivité naturelle due au Radon.*

L'écorce terrestre contient normalement différents isotopes radioactifs du radium. A la suite de leur désintégration, ils donnent naissance à un gaz rare : le Radon.

Celui-ci diffuse à travers le sol, dans l'atmosphère, où il est présent à des taux extrêmement variables suivant les conditions atmosphériques (basses ou hautes pressions, brouillard, inversion de température) et la nature du sol (calcaire ou granitique).

Le Radon, étant un gaz rare, est présent dans l'atmosphère essentiellement sous forme de molécules libres, ou faiblement adsorbé sur les poussières et les aérosols.

Par contre, lors de leurs désintégrations, les différents isotopes du Radon donnent naissance à des isotopes du polonium, du plomb, du bismuth, tous radioactifs, sauf le dernier de chaque série. Ils ont la particularité de se présenter sous forme d'ions, fortement adsorbés aux poussières atmosphériques dont ils deviennent solidaires.

Parmi les descendants radioactifs du Radon, le Plomb 210, en raison de son ostéotropisme marqué et de sa période de 25 ans, joue un rôle biologique important.

— *Radioactivité naturelle d'origine cosmique.*

La terre est continuellement bombardée par le rayonnement cosmique, constitué pour l'essentiel par des particules de très hautes énergies.

Ces particules peuvent réagir avec les noyaux des molécules d'air de la haute atmosphère et donner lieu à un certain nombre de réactions nucléaires, donnant ainsi naissance à des éléments radioactifs dont les plus importants sont le Carbone 14 (période 5700 ans) et le tritium (période 12,5 ans).

Ces deux isotopes se trouvent dans l'atmosphère essentiellement sous forme de  $\text{CO}_2$  ou de vapeur d'eau.

b) RADIOACTIVITÉ ATMOSPHÉRIQUE PROVENANT DES ESSAIS NUCLÉAIRES :

Les radioéléments formés au cours des essais nucléaires sont extrêmement nombreux et varient suivant la nature de la réaction en cause (réaction de fusion ou de fission), de la constitution de l'enveloppe de la bombe et enfin du lieu de l'explosion (sous-marine, souterraine, niveau du sol, atmosphère ou stratosphère).

Si l'on ne tient pas compte des isotopes à vie courte, du point de vue biologique, il faut noter parmi les isotopes à vie moyenne : le Cérium 144 (période 290 j), le Barium 140 (période 12 j.), l'Iode 131 (période 8 j.), le Zirconium 95 (période 65 j.) ; et surtout parmi les isotopes à vie longue : le Strontium 90 (période 25 ans) et le Césium 137 (période 33 ans). Les réactions thermonucléaires donnent naissance à du  $\text{C}^{14}$  (période 5700 ans) en quantité non négligeable.

La nature physico-chimique sous laquelle ces isotopes se présentent dans l'atmosphère est extrêmement complexe.

Au moment de l'explosion, une quantité importante de matériaux est volatilisée (enveloppe de la bombe, terre, débris coralliens, ClNa de l'eau de mer, etc.). Ils se condensent sous forme de gouttelettes vitrifiées, très fines, et englobent une partie importante des produits de fission formés.

On assiste ainsi à la naissance de particules solides (particules chaudes) d'activité parfois extrêmement forte, et dont la composition au point de vue nucléaire est relativement uniforme compte tenu de l'âge de la particule.

Par contre, leur solubilité est extrêmement variable (de 10 à 90 %).

\*  
\* \*

### III. — Action de la radioactivité atmosphérique sur l'organisme humain.

Le rayonnement émis par la radioactivité atmosphérique peut agir directement sur l'organisme (irradiation externe), ou au contraire, n'agir qu'après résorption préalable de cette radioactivité et sa déposition dans les tissus (irradiation interne). Les deux processus doivent être envisagés séparément.

#### a) IRRADIATION EXTERNE.

L'homme vit normalement dans un bain de rayonnement. Certains ont une énergie suffisante pour traverser l'épiderme et les couches superficielles de l'organisme. Ils atteignent ainsi les gonades et la moelle osseuse où ils peuvent provoquer soit des mutations génétiques, soit des leucémies.

La radioactivité atmosphérique artificielle (produits de fission) contribue à cette irradiation par ses isotopes émetteurs gamma (essentiellement le Césium 137), et les doses engagées correspondantes, au niveau des différents organes, sont représentées dans le tableau I.

TABLEAU I

	GONADES	MOELLE	OSTÉOCYTES
Dose totale engagée .....	30	30	30
Dose engagée supplémentaire par année d'essais nucléaires ultérieurs .....	3,8	3,8	3,8

Dose engagée totale au niveau de la moelle et des gonades, due à l'irradiation externe par les produits de fission présents dans l'atmosphère, consécutive aux essais de 1954 à 1961 (dose exprimée en millirem).

On appelle « dose engagée » la somme de la dose totale reçue pendant la période d'essais envisagée (ici de 1954 à 1961) et de la dose totale pouvant être reçue ultérieurement du fait des essais ayant eu lieu pendant la période envisagée.

En ce qui concerne la radioactivité naturelle, ce sont surtout les Radon 220 et 222, et leurs descendants, qui en sont responsables.

Mais il ne faut pas oublier qu'à ces deux sources d'irradiation externe, il faut ajouter le rayonnement gamma issu de la croûte terrestre et le rayonnement cosmique proprement dit.

La contribution respective de ces différentes sources de rayonnement à l'irradiation d'origine naturelle par voie externe, des gonades et de la moelle osseuse, est figurée dans le tableau II.

TABLEAU II

Rayonnement cosmique .....	50 millirem/an
Rayonnement issu de la croûte terrestre :	
Sol calcaire .....	20 millirem/an
Sol granitique .....	150 millirem/an
Rayonnement dû à la radioactivité atmosphérique naturelle .....	4,5 millirem/an

Débit de dose moyen au niveau de la moelle osseuse, des ostéocytes et des gonades, par irradiation externe due au rayonnement gamma provenant des différentes sources naturelles. Les doses sont exprimées en millième de rem par an.

La comparaison de ces différents chiffres est éloquent et montre bien qu'en ce qui concerne l'irradiation externe les facteurs les plus importants sont certainement le rayonnement cosmique et la radioactivité naturelle du sol.

La part de la radioactivité atmosphérique proprement dite qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle est extrêmement faible.

#### b) IRRADIATION INTERNE.

La radioactivité atmosphérique peut également pénétrer dans l'organisme et provoquer des lésions par irradiation interne. Cette pénétration se fait surtout par voie digestive ou pulmonaire, la voie transcutanée pouvant être tenue pour négligeable, sauf accident.

##### — Voie digestive :

La pénétration par voie digestive se fait par l'intermédiaire de la pollution de l'eau et des aliments, mais il faut bien se rendre compte que, sauf cas particulier (eau de citerne non filtrée, radioactivité déposée sur les feuilles de légumes), un certain nombre de processus physico-chimiques ou biologiques interviennent comme mécanisme d'épuration préalable pour diminuer la quantité de radioactivité d'origine atmosphé-

rique susceptible de pénétrer dans l'organisme humain (par exemple : l'eau de pluie perd très rapidement une grande partie de sa radioactivité par filtration dans le sol ou par adsorption sur les boues dans le lit des rivières).

Lorsque cette radioactivité liée aux aliments pénètre dans le tractus digestif, un facteur physico-chimique fondamental intervient. Si l'isotope radioactif se trouve sous une forme insoluble, il ne peut traverser la tunique intestinale, et s'élimine directement avec les feces sans provoquer de lésion. Si au contraire, il se trouve sous une forme soluble, il est assimilé, et son action biologique dépend entièrement du métabolisme de l'élément en cause et de la période de l'isotope. Ainsi le Carbone 14 (période 5700 ans) se répandra dans tout l'organisme de façon relativement uniforme, et y restera avec une période biologique courte. Le Strontium 90 et le Plomb 210, de période plus courte (25 ans environ), s'accumuleront au contraire dans le squelette avec des périodes biologiques infiniment plus longues que pour le C<sup>14</sup>, entraînant une irradiation importante de la moelle osseuse et des ostéocytes.

— *Voie pulmonaire :*

On admet que l'homme « standard » inhale par jour la radioactivité correspondant à 20 m<sup>3</sup> d'air, mais la fraction réellement retenue dans le poumon et dans l'organisme est très variable suivant la nature physico-chimique de l'isotope.

S'il se trouve sous forme de molécule gazeuse libre (C<sup>14</sup> sous forme de CO<sub>2</sub>, tritium sous forme de vapeur d'eau, Radon 222 ou Radon 224 sous forme de gaz rares), il s'établit un équilibre très rapide entre l'activité du composant chimique dans l'ensemble de l'organisme et son activité dans l'air extérieur. Si au contraire l'isotope se trouve solidaire de poussières quelconques ou sous forme de particules chaudes le problème est très différent.

Suivant la taille de la poussière, cette dernière sera déposée en un point variable de l'arbre pulmonaire ou même exhalée à nouveau dans l'air libre. Si la particule reste dans le poumon, le sort de l'isotope radioactif va dépendre de sa solubilité dans l'eau. Dans un cas, il sera rapidement résorbé par voie sanguine ou lymphatique, se répandra dans l'organisme et s'y comportera comme s'il y avait pénétré par voie digestive. Dans l'autre cas, au contraire, son sort sera très différent. Si la poussière vectrice est déposée dans la partie supérieure de l'arbre trachéo-bronchique, elle sera ramenée au niveau du carrefour aéro-digestif et sera éliminée par les fèces après avoir entraîné une irradiation variable de l'épithélium trachéal. Au contraire, si la poussière pénètre profondément dans le poumon, elle pourra y rester plus ou moins

longtemps en fonction de sa taille et des propriétés physico-chimiques de sa surface.

L'action de la radioactivité atmosphérique par irradiation interne est donc extrêmement complexe. Elle dépend de quantité de facteurs physiques, physico-chimiques, chimiques, bien plus que de la nature et de l'activité des isotopes en cause.

On voit immédiatement que si l'on veut estimer les dommages causés à l'organisme humain par la radioactivité atmosphérique en déterminant son niveau et ses caractéristiques physico-chimiques, on se heurtera à des difficultés extrêmement importantes.

Il est plus commode de mesurer directement la teneur des différents organes en isotopes radioactifs naturels et artificiels et d'en déduire l'irradiation correspondante.

Le tableau III indique les doses absorbées annuellement au niveau des ostéocytes, de la moelle et des gonades, doses consécutives à l'irradiation interne par des isotopes d'origine naturelle.

TABLEAU III

NATURE DE L'ISOTOPE	GONADES	OSTÉOCYTES	MOELLE OSSEUSE
K <sup>40</sup> .....	20	15	15
Ra <sup>226</sup> et produits de décroissance	0,5	5,4	0,6
Pb <sup>210</sup> et produits de décroissance	0,3	3,6	0,4
C <sup>14</sup> d'origine naturelle .....	0,7	1,6	1,6
Radon 222 .....	3	3	3
Radon 228 et ses descendants ..	0,8	8,6	1

Irradiation interne due à des isotopes d'origine naturelle exprimée en millirem par an.

Le tableau IV indique la dose engagée au niveau des mêmes organes par irradiation interne par les produits de fission résultant des essais s'étalant entre 1954 et 1961.

Là encore, nous pouvons observer que l'irradiation interne consécutive aux essais nucléaires n'est pas d'un autre ordre de grandeur que l'irradiation interne consécutive à la pollution de l'atmosphère par la radioactivité naturelle.

TABLEAU IV

NATURE DE L'ISOTOPE	GONADES	OSTÉOCYTES	MOELLE OSSEUSE
Sr <sup>90</sup> .....		79	40
Dose engagée par année d'essais supplémentaires .....		10,5	5,3
Cs <sup>137</sup> .....	11	19	14
Dose engagée par année d'essais supplémentaires .....	3,1	5,3	3,9
C <sup>14</sup> .....	70	116	70
Dose engagée par année d'essais supplémentaires .....	22	37	22

Dose engagée totale consécutive à l'irradiation interne par des produits de fission issus des essais nucléaires de la période 1954-1961 (dose exprimée en millirem)

#### IV. - Conclusions.

Les considérations précédentes nous amènent donc à des conclusions peu pessimistes sur le rôle de la pollution radioactive de l'atmosphère sur la santé humaine.

Il faudrait cependant tempérer ce point de vue par quelques remarques au sujet de l'action possible de la radioactivité atmosphérique sur les tissus pulmonaires.

RAJEWSKI avait étudié, il y a quelques années, la toxicité du radon et de ses descendants sur le rat. Ses courbes de mortalité étaient très différentes suivant que le Radon 222 était inhalé dans l'air pur (air filtré) ou chargé de poussières.

La pollution ordinaire est donc susceptible d'amplifier de beaucoup l'action de la radioactivité atmosphérique sur le tissu pulmonaire.

Un autre sujet d'inquiétude est constitué par les particules chaudes insolubles.

On a pu montrer que la durée moyenne de séjour dans le tissu pulmonaire, de telles particules, pouvait atteindre des périodes très longues (100 à 900 jours). Il peut donc en résulter une irradiation intense des cellules pulmonaires situées au voisinage immédiat des particules chaudes (dans un rayon de quelques microns). Les doses ainsi absorbées se chiffrent non plus en millièmes de rad, mais en centaines et en milliers de rad. Il est bien évident que dans ces cas, il est possible d'assister à des lésions particulières.

Malheureusement, l'étude de ce phénomène est extrêmement complexe et il n'y a pas actuellement de résultats pouvant permettre une estimation quelconque de ce risque.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes.  
XVII<sup>e</sup> session - N<sup>o</sup> 16 (A/5216), 1962.
- HERZOG (A.M.), REICHERT (N.), MARTIN (J.). — Rapports S.C.P.R.I. : Radioactivité atmosphérique et contamination pulmonaire humaine.
- Rapports mensuels du S.C.P.R.I. - Institut National d'Hygiène, Ministère de la Santé.
- Rapports mensuels du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris.
- Sonderausschuss - Radioaktivität - Kolloquium über radioaktive Partikel Schriftenreihe des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft.  
*Strahlenschutz* n<sup>o</sup> 1.
- The hazards to man of nuclear and allied radiations HMSO Cmmd 9780 - 1956.
- MAYNEORD. — The hazards to man of nuclear and allied radiations-second report of the medical res.-council - HMSO Cmmd 1225 (1960).
- AURAND, JACOBI, MUTH. — Weitere Untersuchungen zur biologischen Wirkung des Radons und seiner Folgeprodukte.  
*Strahlentherapie* 112 (1960).
- Inhaled particles and Vapours  
*Pergamon Press* - Oxford, april 1960.
- Proceedings of an international symposium organized by the british occupational hygiene society.
- STERN. — Air Pollution.
- Evaluation of the pulmonary radiation dosage from radon and its daughter products - Shapiro - Atomic Energy projects UR 398.
-

**LE PROBLEME DES CANCERS LATENTS :  
PERSPECTIVES ACTUELLES \***

par

P. FLORENTIN et C. CHARDOT

---

L'évolution spontanée des cancers est-elle toujours irrévocablement extensive et rapidement mortelle ? Un traitement chirurgical ou radiothérapique précoce, qui puisse supprimer complètement la lésion locale avant sa généralisation ne paraît-il pas la seule chance d'une issue favorable ? En fait, depuis une dizaine d'années, nous apprenons qu'il existe des formes cancéreuses autrefois méconnues, qui ne sont pas d'issue fatale, même en l'absence de traitement, et où l'hôte semble limiter spontanément la tumeur dans son extension, voire même l'entraver complètement. L'idée assez récente d'une lutte victorieuse possible de l'hôte vis-à-vis de sa tumeur offre un intérêt certain en ce qui concerne la prophylaxie et le traitement de certaines formes de la maladie cancéreuse. Il se fait là un remaniement profond de nos conceptions. Il est intéressant d'en rappeler la genèse pour apprécier l'originalité des voies de recherches nouvelles qui s'ouvrent aux cancérologues modernes.

La notion de cancer fut initialement clinique et remonte à la plus haute antiquité. Dans les œuvres d'Hippocrate et de Galien, qui firent le Credo du monde médical en Occident pour un millénaire, il s'agit d'une affection générale, localisée sous l'aspect d'une ou de plusieurs tumeurs extensives et destructrices, qu'on qualifie de malignes parce qu'elles entraînent constamment la mort. Au 18<sup>e</sup> siècle, devant l'Académie des Sciences, le chirurgien H.F. LEDRAN élabore clairement, pour la première fois, la théorie de l'extension progressive de la maladie : il décrit l'origine locale des cancers et leur diffusion métastatique secondaire par les voies

---

\* Note présentée à la séance du 18 juin 1964.

veineuses et lymphatiques qu'HARVEY et HANDLEY viennent de décrire ; la progression constante de l'affection, sans aucune tendance à la guérison spontanée, reste pourtant le seul critère du diagnostic.

Au 19<sup>e</sup> siècle, l'application du microscope à l'étude des tumeurs permet de découvrir les particularités architecturales et cytologiques du tissu cancéreux. On décrit le parenchyme tumoral et ses divers aspects, ainsi que le stroma, charpente conjonctivo-vasculaire de la tumeur, qui représente la réaction de l'hôte au contact du tissu pathologique. On édifie la théorie cellulaire du cancer, où la cellule néoplasique, qui se multiplie sans arrêt, figure le vecteur de la dissémination métastatique (X. BICHAT, J. MULLER et R. VIRCHOW). Le diagnostic clinique d'autrefois, si souvent rétrospectif, en tout cas purement empirique, se trouve doublé d'une confirmation histologique et mieux encore, à partir du prélèvement d'un fragment tissulaire effectué sur une lésion circonscrite et débutante, de nature encore incertaine pour le clinicien, il devient possible grâce aux biopsies, de prévoir l'évolution maligne, car les aspects microscopiques du tissu néoplasique sont dès le début très caractéristiques. Ainsi l'histologie du tissu cancéreux devient le critère fondamental du diagnostic. A cette époque commencent les confrontations anatomo-cliniques pour chaque variété de cancers et l'édification d'un véritable catalogue des caractères morphologiques et du comportement des diverses tumeurs humaines.

En fait, la nature biologique profonde des cancers reste inconnue et la définition elle-même n'est pas trouvée. Il est seulement possible de caractériser en traits généraux le processus cancéreux par sa morphologie et son comportement :

- Fertilité élevée selon des modes de division cellulaire inusités, en l'absence de toute source connue d'activation.
- Production d'un tissu de structure générale simplifiée, plus ou moins dépourvu des aspects architecturaux et fonctionnels qui appartiennent aux tissus sains d'origine.
- Pouvoir destructeur et invasif du néoplasme vis-à-vis des tissus sains de voisinage.
- Capacité migratrice des cellules tumorales détachées dans les vaisseaux lymphatiques ou veineux avec possibilité d'auto-greffes au lieu d'arrêt (métastases ganglionnaires, viscérales ou squelettiques).

Jusqu'à une époque récente, l'étiquette de cancer est contestée ou refusée aux lésions qui ne présentent pas l'ensemble de ces caractères anatomo-cliniques. La cellule cancéreuse est considérée comme le facteur pathogène qui porte en lui seul le destin du malade, quel que soit son équilibre biologique propre. Ceci suppose que les propriétés de la mali-

gnité ont été acquises d'un seul coup par la première cellule malade, à un niveau qui sera indéfiniment reproduit chez ses descendantes. Comme la transmission des propriétés morbides se fait de cellules mères à cellules filles de façon immanquable, on finit par assimiler le processus initial à une sorte de mutation unique réalisée sur une cellule somatique, ce qui entraînerait d'un seul coup et d'un bloc la malignité particulière et permanente d'une tumeur donnée. En fait, une telle conception méconnaît bien des cas limites où malignité et bénignité ne sont pas nettement séparées. D'autre part, elle ignore la possibilité pour une tumeur de modifier son potentiel de malignité au fur et à mesure de son vieillissement. Enfin, cette conception a surtout le défaut de ne prendre en considération que l'observation des cancers humains à partir de leurs premières manifestations cliniques et d'ignorer les états tissulaires anormaux qui les ont de longtemps précédés et qui, pour être discrets, n'en sont pas moins indispensables à la description d'ensemble des processus néoplasiques.

A partir du 20<sup>e</sup> siècle, la découverte des agents carcinogènes, chimiques, physiques et hormonaux, devait permettre d'étudier, par l'expérimentation sur l'animal, un ensemble de modifications biochimiques et anatomo-pathologiques qui précèdent de longtemps l'éclosion clinique du cancer animal. Parallèlement, en médecine humaine, le souci de trouver prophylaxie à une affection redoutable parce qu'irréversible, faisait découvrir que le cancer du clinicien n'est que le terme ultime d'une très longue période de remaniements qui, pour ne pas être cliniquement visibles, n'en sont pas moins à l'origine de la maladie. La minutie accrue des observations cliniques, les développements de l'endoscopie et de la radiologie, la multiplication des explorations biopsiques et chirurgicales vont procurer à l'anatomo-pathologiste la possibilité d'examiner un certain nombre de lésions préinvasives, néanmoins caractérisées sous le microscope par l'existence de quelques stigmates caractéristiques du désordre cancéreux. De la sorte, les cancers humains vont se révéler comparables en tous points aux tumeurs expérimentales par la longue précession d'altérations tissulaires, états précancéreux ou cancers latents, dont la liste s'allonge sans cesse. On aboutit ainsi à l'idée que le tissu malade n'acquiert que progressivement, étape par étape, les différentes propriétés biologiques dont l'ensemble fait la malignité au sens classique plus haut défini (théorie de la « progression » de FOULDS, 1958). L'autonomie de croissance, elle-même, semble soumise également à cette loi de progression.

La notion d'état précancéreux n'a pas actuellement de base anatomo-pathologique ou biochimique précise, et la longue liste des états précancéreux aujourd'hui connus fut établie de manière empirique et, plus récemment, statistique. Celle de cancer latent, repose au contraire

sur des bases objectives qui sont celles de l'anatomie pathologique : on retrouve là au microscope, un certain nombre des critères morphologiques de la malignité, bien que la tumeur reste, pendant longtemps, dans le cadre clinique de la bénignité ou en tous cas d'une malignité très atténuée.

Dans ce domaine des cancers latents, auquel on veut présentement se limiter, les connaissances acquises sont récentes et fragmentaires et n'autorisent pas un exposé logique ou systématisé. Tout en restant dans le domaine tangible et particulièrement brûlant de la clinique humaine, on va donner seulement quelques exemples et s'efforcer de décrire le contexte biologique qui semble maintenir ces tumeurs dans la quiescence.

De longue date, on sait que le génie évolutif propre aux différents cancers est variable, c'est-à-dire que la capacité de supplantation de l'organisme par l'évolution locale et les métastases est variable, ou en termes brutaux que le décès intervient dans des délais qui sont de trois mois à 15 ans. On connaît même des tumeurs qui, d'un bout à l'autre de leur évolution, de manière parfaitement prévisible, n'auront qu'une malignité incomplète. Un premier exemple est celui de l'*Epithélioma baso-cellulaire de la peau* ou « cancroïde », dénué de toute possibilité d'essaimage lointain. Le parenchyme de cette tumeur est entouré de toutes parts, d'une réaction de l'hôte assez complète pour qu'aucun contact ne soit possible avec le système vasculaire (stroma-réaction précessive de Masson). Certes, en l'absence d'un traitement radiothérapique ou chirurgical qui guérisse sur place radicalement, une telle tumeur détruira la face, son lieu d'évolution le plus habituel, jusqu'aux pires mutilations, mais elle n'entraînera la mort qu'après une vingtaine d'années d'évolution et sans qu'aucune métastase ne se soit manifestée ; c'est l'exemple évident, à la fois d'une fertilité cellulaire atténuée et d'une absence complète de possibilités de migration à distance pour les cellules cancéreuses.

Un autre exemple très remarquable est celui de l'*épithélioma remanié des glandes salivaires*, relativement fréquent sur la parotide. On l'appelait autrefois tumeur mixte parce que son stroma, considérable, riche en métaplasies conjonctives variées, faisait croire à une dégénérescence maligne double, intéressant à la fois le parenchyme glandulaire et sa charpente conjonctive. En réalité, le processus conjonctif n'est qu'une réaction intense des tissus de voisinage, qui crée une protection vis-à-vis de la dissémination lointaine, et aussi de l'infiltration locale. Ici cependant, le passage à une malignité clinique entière est subitement possible avec infiltration locale et développement de métastases ganglionnaires ou viscérales, si bien que la tumeur, malgré ses caractères cliniques de bénignité, doit être traitée complètement et rapidement dès

son identification. Dans les deux cas qui viennent d'être évoqués, on ignore le pourquoi de ce comportement cancéreux incomplet. On peut aussi bien invoquer une réaction défensive de l'hôte partiellement ou totalement victorieuse que l'évolution d'une race de cellules néoplasiques génétiquement peu virulente ; rien ne permet d'infirmer la théorie de la mutation somatique.

Mais d'autres tumeurs malignes se signalent par une fertilité qui dépend de l'état tumoral de l'hôte. Tel est le cas de *certaines cancers du sein*, qui entrent en quiescence pour quelques mois ou quelques années, si l'on supprime les sources œstrogéniques de l'organisme ou leur incitateur (ovariectomie, surrénalectomie, hypophysectomie). Malheureusement, on sait que la phase de latence ainsi obtenue n'excède jamais cinq années et que le processus néoplasique retrouve plus tard son autonomie entière et reprend son évolution inexorable. On peut en rapprocher le *cancer de la prostate* dont l'extension et l'évolutivité dépendent, quelquefois pendant très longtemps, de la sécrétion testiculaire endocrine. Celle-ci peut spontanément diminuer dans le grand âge pour le plus grand bien du malade. Il est possible aussi de la supprimer dans un but thérapeutique par castration ou œstrogénothérapie atrophiante.

Enfin, le cas de certaines *tumeurs thyroïdiennes* est encore plus remarquable par la durée de la quiescence. On connaît en effet de mieux en mieux certains cancers de cet organe qui conservent une structure glandulaire bien différenciée, vésiculaire ou papillaire par exemple, et un certain degré d'activité sécrétoire endocrine. Depuis quelques années, on sait que ces tissus néoplasiques restent sous la dépendance de l'hypophyse, moteur naturel de leur fonction endocrine et de leur prolifération. Comme dans le cas illustré ci-contre (Fig. 1, 2 et 3), la tumeur peut être née sous une incitation hypophysaire momentanée comme celle de la puberté ou de la ménopause et dont la sédation entraîne l'arrêt évolutif d'une lésion qui n'est pas encore autonome à l'égard de son excitateur initial. On voit l'exploitation possible de ce mécanisme biologique pour le traitement : qu'on assure l'arrêt de toute thyreo-stimulation hypophysaire, en imprégnant l'organisme d'extraits thyroïdiens par exemple, et la tumeur avec ses métastases a de bonnes chances d'entrer en quiescence pour de longues années. De tels faits ont été maintes fois observés en clinique humaine comme en expérimentation animale. Des phénomènes de latence liés à l'hormono-dépendance ont été observés pour d'autres cancers des endocrines ou des organes cibles des hormones correspondantes.

Le ralentissement de l'activité mitotique et l'abolition du pouvoir pathogène d'autres cancers peuvent être conditionnés, semble-t-il, par un frein d'ordre immunologique. On sait que le placenta peut être le



FIG. 1. — Métastase ganglionnaire d'un épithélioma thyroïdien.  
Document photographique de 1957.



FIG. 2. — Même malade en 1964. Situation inchangée. Excellent état  
général. La tumeur thyroïdienne n'est pas visible.

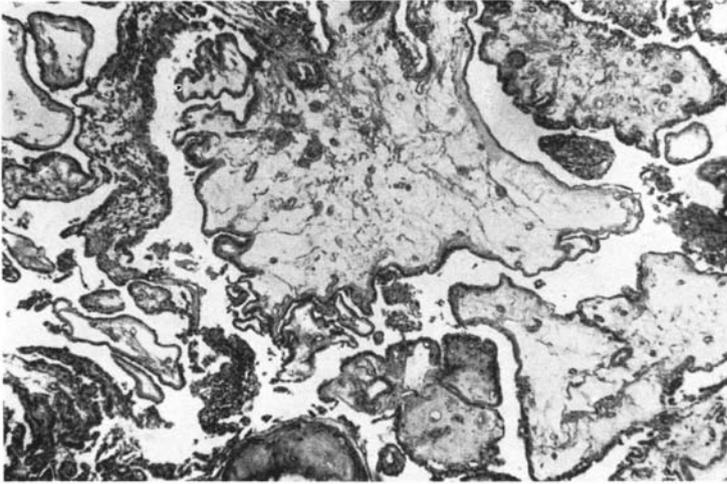


FIG. 3. — Aspect histologique du processus métastatique ganglionnaire : formations papillaires inactives, productions ossifiantes denses et abondantes.

point de départ de tumeurs malignes redoutables appelées *chorio-épithéliomes*. Il s'agit là de tumeurs extrêmement métastatiques, donnant en particulier des colonies multiples et disséminées dans les champs pulmonaires. Or, il se trouve que certaines de ces tumeurs, même disséminées à l'ensemble de l'organisme, sont susceptibles de rester inactives pendant longtemps après l'accouchement ou même de rétrocéder complètement et définitivement. On a voulu imputer ces évolutions, il faut en convenir exceptionnellement favorables, à la suppression des ovaires qui est faite souvent avec l'ablation de l'utérus porteur de la tumeur, et considérer ici aussi qu'il s'agit d'un phénomène d'hormono-dépendance ; mais si l'on se souvient que le chorio-épithéliome est né d'un tissu fœtal et non maternel, il apparaît que la mère porte en elle, dans ces cas particuliers, une homo-greffe et non une auto-greffe tumorale et qu'il existe une véritable histo-incompatibilité entre l'hôte et sa tumeur. On connaît la barrière immunologique contre laquelle se heurtent nos tentatives de greffes d'organes entre sujets de nature génétique différente. La greffe de tissus cancéreux connaît, quoiqu'à un moindre degré, de semblables difficultés. Certes, on connaît des tumeurs très anaplasiques, qui semblent avoir perdu leur pouvoir anti-génique (GREEN), ce qui explique leur greffe possible chez un hôte génétiquement différent de la cellule-mère de la tumeur. Mais dans certains cas de chorio-épithéliome, on peut admettre que la cellule tumorale manifeste un pouvoir antigénique qui soit la base du rejet final de la greffe. Que la greffe ait été acceptée

et se soit développée durant la gestation peut être le fait de l'imprégnation hormonale si particulière à cet état, qui abaisse sans doute la réaction immunologique de l'hôte, selon les nécessités de l'intimité utéro-placentaire.

Par ailleurs, l'existence dans la littérature mondiale, de deux cent cinquante cas environ de guérisons spontanées de cancer, absolument indubitables, prouve l'existence d'une réaction de défense, victorieuse dans quelques cas au moins ; comme la rétrocession du processus cancéreux est intervenue souvent à l'occasion d'une infection grave, il est logique de rechercher la cause avec une particulière attention dans le cadre de l'immunologie. Ajoutons qu'un certain nombre de ces cas de guérisons sans traitement correspondent à des chorio-épithéliomes placentaires mais que beaucoup d'autres variétés tumorales y sont représentées, même parmi les plus malignes.

La question des *Epithéliomas* « *intra-épithéliaux* » doit maintenant être envisagée ; elle prend un développement considérable en cancérologie depuis une quinzaine d'années et laisse voir des horizons entièrement nouveaux sur le comportement et le devenir de certains états tissulaires qui précèdent la malignité des cliniciens d'autrefois.

On sait que le cancer du col utérin est habituellement un épithélioma ; c'est une des tumeurs malignes les plus fréquentes chez la femme. Comme l'organe est très accessible à l'investigation clinique et biopsique, son examen est fait de manière systématique en consultation gynécologique. De la sorte, on a pu constater que la tumeur invasive et métastatique classique était souvent précédée d'un état cancéreux incomplet, parfaitement identifiable par l'histologiste, que l'on appelle épithélioma au stade 0 ou épithélioma intra-épithélial ou encore épithélioma « *in situ* ». Sa caractéristique essentielle est que, s'il existe une prolifération de type cancéreux, celle-ci demeure strictement superficielle, sans aucune invasion du chorion (Fig. 4), ce qui fut en son temps un fait très nouveau pour les anatomo-pathologistes. Bien entendu, il n'existe aucun contact entre la masse tumorale superficielle et les vaisseaux du chorion, de telle sorte qu'il ne peut se constituer de métastases. Après des études histologiques minutieuses appliquées à de nombreux cas, le diagnostic d'épithélioma intra-épithélial du col utérin est désormais bien assuré. Le devenir de telles lésions est lui-même assez bien connu grâce à quelques travaux statistiques. Il apparaît d'abord que la latence de la lésion est en moyenne de dix ans, chiffre qui résulte de la comparaison des moyennes d'âge pour l'épithélioma intra-épithélial et pour l'épithélioma invasif qui lui succède. En second lieu, certains auteurs ayant suivi des femmes porteuses de cette lésion sans faire aucun traitement, ont pu constater que 70 % seulement de ces tumeurs « *in situ* »

passent au stade invasif, les autres guérissant spontanément pour des raisons jusqu'à présent inconnues.

La notion d'épithélioma intra-épithélial n'est pas l'apanage de la muqueuse du col utérin ; on connaît des processus similaires sur la peau et les muqueuses génitales ou aéro-digestives supérieures, par exemple. Ils prennent au niveau de la peau, le nom de maladie de Bowen. De tels processus sont également bien connus sur la muqueuse de l'estomac. Il en est de même de certaines kystes mammaires. Dans tous ces cas, le processus cancéreux est incomplet, non invasif localement, dénué de pouvoir d'essaimage lointain. La démonstration d'une régression spontanée du tiers des cas pour la localisation au col utérin retient particulièrement l'attention.

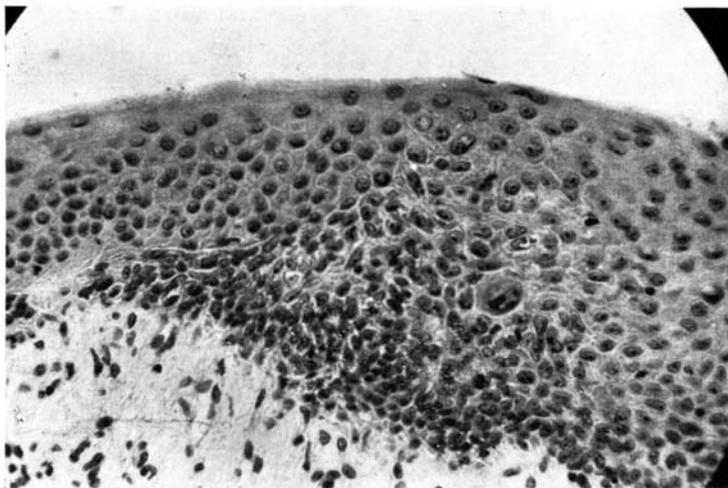


FIG. 4. — Epithélioma « in situ » du col utérin. La prolifération cancéreuse s'étend en surface sans effraction dans le chorion. Noter la progression en coin dans l'épithélium sain, au voisinage.

Il nous faut enfin évoquer la question des *micro-foyers cancéreux*. Puisqu'il est entendu que l'apparition d'un cancer sur la scène clinique n'est habituellement que la première émergence en date d'une maladie qui touche en fait un tissu donné dans son ensemble, sous l'impulsion antérieure d'un carcinogène, on doit s'attendre à ce que l'examen microscopique d'un prélèvement biopsique quelconque sur ce tissu et à distance de la tumeur principale, révèle des anomalies précancéreuses ou des micro-foyers néoplasiques plus ou moins nombreux.

C'est ce que nous découvrons depuis quelques années. On connaît des cas de micro-foyers cancéreux multiples dans les glandes salivaires (DELARUE et REDON). On connaît maintenant de telles micro-lésions multiples trouvées par coupes sériées d'un lobe thyroïdien apparemment sain, contro-latéral à celui qui porte un cancer caractérisé. On connaît des micro-foyers néoplasiques multiples du foie découverts à l'autopsie de sujets cirrhotiques, parmi des zones d'hyperplasie et des foyers adénomateux multiples (Fig. 5).

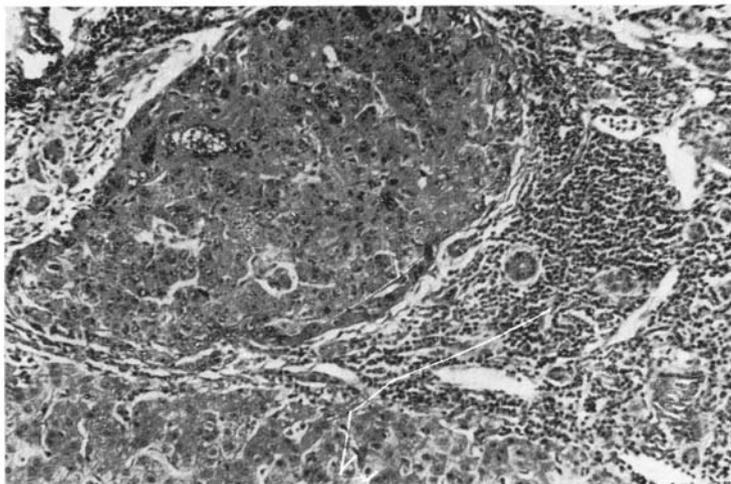


FIG. 5. — Micro-foyers d'adéno-cancer hépatique dans une glande cirrhotique.

On a pu aussi trouver, après traitement d'un cancer du sein, de l'autre côté, dans une glande apparemment normale, des micro-foyers cancéreux multiples dont la fréquence serait de l'ordre de 30 % ; ces lésions ne correspondent aucunement à une diffusion de la première tumeur, et ne sont pas autre chose que des cancers latents, témoins multiples de l'altération du tissu mammaire sous l'action du facteur cancérigène qui a agi pendant de longues années. Le devenir de ces cancers minuscules et multiples du parenchyme mammaire est fort mal connu et le passage à la malignité véritable est sans doute assez tardif car les statistiques des cliniciens sur les cancers bilatéraux du sein faisaient état, jusqu'à une époque récente, de taux qui n'excédaient pas 7 à 8 %. Cependant l'amélioration des techniques de traitement, jointe à la précocité toujours accrue du diagnostic, fait que les chances de guérir d'un premier cancer du sein s'élèvent et que le problème de nouvelles localisations sur le tissu mammaire restant de l'autre côté, se pose maintenant de manière pratique ; ainsi s'explique que certains

chirurgiens cancérologues américains demandent à leurs malades d'accepter d'emblée le sacrifice bilatéral.

Enfin, certains anatomo-pathologistes américains ou allemands étudiant en coupes sériées la prostate de sujets de plus de 60 ans, morts d'affections diverses hors de toute pathologie prostatique, constatent la présence fréquente, dans plus de la moitié des cas selon certains, de micro-cancers souvent multiples. Certaines difficultés d'interprétation histologique font que la fréquence réelle de tels processus est présentement indéterminée.

De toute manière, le devenir de ces micro-foyers néoplasiques est fort mal connu actuellement et on ignore le délai pour leur passage à la malignité clinique qui peut être de dix ans ou de plusieurs dizaines d'années, parce que sans doute le terrain endocrinien interdit leur croissance.

On le voit, ces notions nouvelles sur les micro-cancers diffus d'un organe sont l'objet, elles aussi, d'abondants travaux anatomo-pathologiques dont le corollaire en épidémiologie humaine est l'étude des cancers multiples. Il semble que tout homme soit un cancéreux en puissance et que seule l'interruption de l'existence du fait d'événements pathologiques intercurrents, relevant en particulier de la diathèse cardiovasculaire, fait qu'un homme sur cinq seulement meurt actuellement de cancer. Il est certains que si la longévité humaine continue à s'élever en moyenne, la fréquence relative des décès par cancer continuera à s'accroître.

Cependant, hors cette note d'un certain pessimisme sur l'importance relative de la pathologie cancéreuse dans l'avenir et qui résulte du potentiel de léthalité enclos théoriquement en tout cancer latent, nous voudrions insister bien plus pour terminer sur les horizons nouveaux et les espoirs thérapeutiques que nous ouvre cette même notion.

Notre bref exposé a montré l'extension récente de nos connaissances sur des processus cancéreux dont l'évolution, bénigne pendant longtemps, diffère profondément de l'évolution cancéreuse classique rapidement gravative. Hormis leur bénignité, pour un temps du moins, et la possibilité même de leur régression, ces formes de cancers se signalent éventuellement par une évolution dépendante à l'égard d'un état biologique déterminé de l'hôte, d'ordre immunologique ou endocrinien par exemple.

Ainsi la notion de mutation somatique, de facteur morbide inscrit dans une race cellulaire qui se multiplie hors des contrôles naturels de l'hôte et contre lui, reçoit dans ce domaine au moins un démenti. Aux phases ultimes de la maladie cancéreuse, il est possible, certes, que

l'anaplasie et l'autonomie de croissance soient entières mais on est amené à reconsidérer le rôle du terrain sur l'évolution de la maladie dans ses phases précédentes.

Quelques-uns de ces facteurs de dépendance ont été évoqués ; on a vu quelle exploitation thérapeutique en pouvait être faite dès maintenant. Dans ces cas, une possibilité nouvelle pour infléchir la maladie dans son ensemble, même généralisée, vient s'ajouter aux résultats acquis par la chirurgie ou la radiothérapie sur le plan local. La connaissance récente de facteurs de croissance pour des tumeurs malignes jusque là réputées « autonomes », montre que cette notion d'autonomie n'est que provisoire dans bien des cas et que d'autres découvertes importantes peuvent être espérées. On entrevoit ici pour l'avenir la possibilité plus fréquente d'une action thérapeutique sur le terrain, qui puisse, sinon guérir au sens absolu du terme, du moins fournir de si longues survies qu'elles soient équivalentes à la guérison.

*(Travail du Centre Anticancéreux de Nancy)*

**METHODE DE MESURE DE LA RADIOSENSIBILITÉ  
DES TUMEURS SOLIDES (\*)**

**Application à des phénomènes de synergie  
entre agents pharmacologiques et Rayons X**

par

D. OTH (\*\*), J. ROBERT, C. BURG (\*\*\*)

---

I

Depuis que'ques années, à l'arsenal thérapeutique habituel contre le Cancer, s'est ajoutée la Chimiothérapie.

Ceci pose évidemment le problème de combiner l'action de ces substances chimiques nouvelles avec les moyens de traitements traditionnels des cancers, en particulier, la Radiothérapie.

En fait, l'étude expérimentale de l'association de la radiothérapie et de la chimiothérapie soulève de très nombreuses difficultés.

En particulier, il faut disposer d'une méthode précise de mesure de la radiosensibilité des tumeurs expérimentales, afin d'en exprimer correctement les variations sous l'effet de l'agent chimique que l'on désire étudier.

Cette difficulté est particulièrement grande, dans le domaine des tumeurs solides, de loin les plus fréquentes.

---

(\*) Note présentée à la séance du 10 décembre 1964.

(\*\*) Stagiaire de Recherche à l'I.N.S.E.R.M.

(\*\*\*) Laboratoire de Physique Médicale - Faculté de Médecine de Nancy.

## II

### Etat du problème

#### a) CHOIX DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE.

Il est bien évident qu'une tumeur quelconque ne se prête pas nécessairement à de telles études.

Beaucoup d'auteurs utilisent des tumeurs dites « greffables ». Ces tumeurs ont la caractéristique de prendre avec un pourcentage important sur tous les animaux de la même espèce (tumeur de Yoshida et de Guérin, chez le Rat ; carcinome d'Ehrlich chez la Souris). En réalité, ces tumeurs sont toutes des tumeurs homologues. Elles ont des antigènes qui leur sont propres et qui diffèrent des antigènes tissulaires de l'animal sur lequel elles sont greffées. De ce fait, elles déclenchent des réactions secondaires (réactions d'homogreffes) qui ne sont pas liées à leur propriété de néoplasme et qui auraient été provoquées par n'importe quelle autre homogreffe tissulaire.

Il paraît plus rationnel d'utiliser des tumeurs isologues, c'est-à-dire issues d'une souche strictement « inbred » et maintenues au sein de la même souche, ce qui évite toute interaction entre les gènes d'histocompatibilité de l'hôte et les antigènes tissulaires normaux de la tumeur.

Il est même nécessaire que la tumeur soit transplantée régulièrement dans son sexe d'origine en raison de l'existence d'un locus d'histocompatibilité lié au chromosome Y, tout au moins chez la Souris.

Tout en respectant ces critères, il sera également souhaitable de disposer de tumeurs isologues spontanées et de ne pas se limiter à des tumeurs provoquées par des agents cancérogènes.

En effet, dans ce dernier type de tumeur, on trouve souvent des antigènes spécifiques [19] [22] et susceptibles de provoquer des réactions immunologiques particulières, si la croissance de la tumeur est tant soit peu ralentie, soit par l'action des rayons X, soit par un agent chimique quelconque.

#### b) IRRADIATION DE LA TUMEUR ET MESURE DE SA RADIOSENSIBILITÉ.

L'irradiation de la tumeur soulève également de nombreuses difficultés.

Beaucoup d'auteurs procèdent à l'irradiation de la tumeur *in-situ* et observent ensuite les modifications de son développement, en mesurant la survie du porteur par exemple.

Bien entendu, ils s'efforcent d'éviter une irradiation du reste de l'animal, en le protégeant par des caches de plomb (MALAISE, TUBIANA, BARSKI [17]).

Une solution attrayante consiste à greffer la tumeur à l'extrémité de la queue, ce qui facilite la protection de l'hôte. Malheureusement, la queue est un organe fragile, et des doses de rayons X tant soit peu importantes entraînent sa nécrose.

Il existe une autre technique mise au point par LAMERTON, qui pratique sa greffe tumorale dans un tunnel cutané sous lequel il est possible de glisser des caches de plomb [16]. Elle est beaucoup plus satisfaisante, mais son application dans des expériences portant sur un grand nombre d'animaux soulève de grandes difficultés d'ordre pratique.

En fait, il est très difficile d'éviter une irradiation de l'hôte par le rayonnement diffusé.

Or, une telle irradiation, même à faible dose, peut déclencher des réactions de Stress (CHEVALLIER, MANUEL, CHATEAU [7]), réactions qui pourraient se répercuter sur la croissance de la tumeur.

Pour pallier cette difficulté, de nombreux auteurs se sont efforcés de séparer très nettement les deux processus, à savoir l'irradiation d'une part, et la croissance de la tumeur irradiée d'autre part.

Certains irradient, dans un milieu de culture artificiel, un fragment de la tumeur fraîchement excisée, ou une tumeur cultivée *in vitro* depuis longtemps.

Après irradiation, ils repiquent la tumeur dans un autre milieu de culture [9] [12], ou la greffent sur des animaux vierges de toute irradiation [8] [11].

Ces différentes techniques permettent l'établissement de paramètres qui caractérisent quantitativement la radiosensibilité de la tumeur.

Malheureusement, on a constaté depuis longtemps que la dose nécessaire à la stérilisation des cellules tumorales était très différente suivant que l'irradiation était réalisée *in vitro* ou *in vivo* (GOLDFEDER [10]).

En fait, on est en droit de penser que l'environnement cellulaire exerce une influence sur l'action du rayonnement (effet oxygène, etc. : JOLLY, FERROUX, LACASSAGNE - 1924 - SCOTT [20]).

C'est pourquoi plusieurs auteurs ont mis au point une technique où la tumeur est irradiée sur son porteur, excisée aussitôt après irradiation et transplantée sur des organismes sains : [4] [5] [6] [15] [21].

Pour mesurer l'action du rayonnement, ils utilisent la notion de TD 50, symbole qui exprime le nombre de cellules tumorales qu'il est nécessaire de greffer pour avoir 50 % de greffes positives (HEWITT [14]).

La comparaison de la TD 50 d'une tumeur avant et après irradiation est une caractéristique quantitative de la radiosensibilité de la tumeur pour une dose donnée (HEWITT et WILSON [15]).

Cette méthode ne soulève aucune difficulté particulière avec les tumeurs fluides (ascites, leucémies...). Il suffit de compter le nombre de cellules viables après coloration avec des colorants spéciaux et d'en greffer des quantités connues.

Avec les tumeurs solides, le problème est plus compliqué. Certains auteurs procèdent à une digestion enzymatique de la tumeur (par exemple avec de la Pronase [13]) afin d'obtenir une suspension de cellules libres.

D'autres procèdent à une dilacération mécanique de la tumeur et après filtration et éventuellement centrifugation fractionnées obtiennent également une suspension de cellules cancéreuses isolées (BACLESSE, DUPLAN, ROYER [6]).

Ces deux méthodes ont donné des résultats intéressants. On peut cependant, à priori, leur reprocher de léser les cellules et en tout cas d'injecter à l'animal des cellules cancéreuses séparées de leur stroma d'origine, ce qui, pour des tumeurs solides, représente des conditions peu physiologiques.

### III

#### **Etude critique d'une méthode de mesure de la radiosensibilité des tumeurs solides**

##### 1° MÉTHODE.

En tenant compte de ces différentes considérations, nous avons essayé de mettre au point une technique simple et rapide de mesure de la radiosensibilité d'une tumeur solide.

Nous procédons de la façon suivante : les tumeurs sont des tumeurs isologues (provoquées ou spontanées) repiquées régulièrement sur des individus de même souche et de même sexe.

Pour obtenir des conditions d'irradiation correcte, nous irradiions l'animal porteur de sa tumeur in toto en une seule fois. Dès la fin de l'irradiation, l'animal est sacrifié, et la tumeur excisée stérilement.

A l'aide d'un dispositif composé de plusieurs lames de rasoir parallèles, et distantes d'1 mm, on découpe dans cette tumeur des tranches, des parallélépipèdes et enfin des cubes d'1 mm<sup>3</sup>. Ces derniers sont injectés sous la peau du dos d'animaux vierges de toute irradiation.

Bien entendu, les tumeurs, au moment de l'expérience, ont toutes la même dimension et ne présentent pas de phénomène de nécrose.

Nous avons essayé d'appliquer cette technique à trois tumeurs isologues, provoquées par méthylcholanthrène. L'une (CT 2) a été obtenue sur des Rats Wistar inbred de sexe mâle, l'autre (CB 1) sur des Souris C3H femelles, la troisième enfin (TP7) a été obtenue sur des Souris C3H mâles.

Au moment de l'expérience, la tumeur CB 1 avait subi trente-cinq greffes successives. CT 2 cinq greffes successives, et TP 7 quatre greffes successives.

## 2° CRITÈRES DE MESURE DE LA RADIOSENSIBILITÉ.

Dans ces conditions, l'action du rayonnement sur la tumeur se traduit par des modifications :

- a) du délai d'apparition de la tumeur chez les animaux greffés,
- b) du temps de survie des animaux greffés,
- c) de la vitesse de croissance de la tumeur,
- d) du taux de prise,
- e) du taux de mortalité des animaux greffés.

Nous avons étudié de façon détaillée chacun de ces critères afin d'en tester la validité et la sensibilité.

### a) Délai d'apparition :

En respectant les conditions de greffes précédemment décrites, on a pour chaque tumeur un délai d'apparition qui lui est caractéristique.

NOM DE LA TUMEUR	DÉLAI D'APPARITION	ÉCART-TYPE
CB 1 .....	9,6 jours	± 2,8
TP 7 .....	10,4	± 3,8
CT 2 .....	7,4	± 0,5

Chaque valeur correspond à quarante animaux, sauf pour CT 2 où l'expérience n'a porté que sur dix animaux.

Lorsque l'on irradie une tumeur, le délai d'apparition augmente (Figures 1 et 2) mais d'une façon variable suivant les tumeurs.

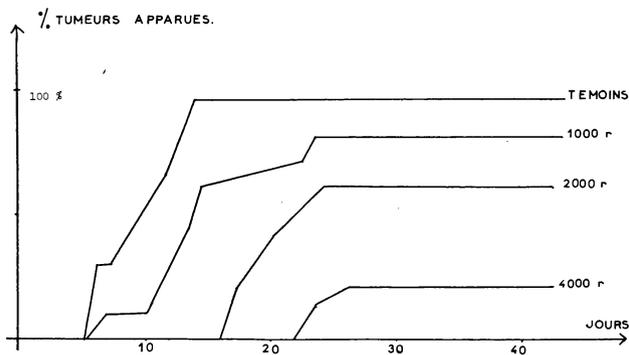


FIGURE 1. — Dates d'apparition de tumeurs CB 1, après plusieurs doses d'irradiation.

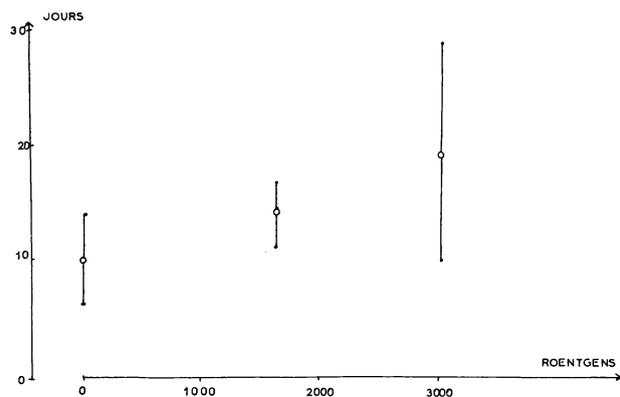


FIGURE 2. — Délai moyen d'apparition de tumeurs TP 7, en fonction de la dose d'irradiation.

Malheureusement, la détermination du moment exact où une tumeur devient palpable est délicate et subordonnée à des appréciations personnelles.

Il en résulte une certaine dispersion des résultats.

Lorsque l'on irradie la tumeur, cette dispersion des valeurs augmente encore. Ainsi pour une dose de 1.000 roentgens, le délai d'apparition de la tumeur CB 1 passe de 9,6 jours à 14,7, mais l'écart - type augmente de  $\pm 2,8$  à  $\pm 6$  jours.

Cette augmentation du délai d'apparition, malgré les réserves formulées, peut néanmoins constituer un critère valable de la mesure de la radiosensibilité.

b) *Temps de survie :*

Le temps de survie des animaux greffés avec les différentes tumeurs étudiées est également caractéristique de chacune d'elles.

NOM DE LA TUMEUR	TEMPS DE SURVIE	ÉCART-TYPE	NOMBRE D'ANIMAUX
CB 1 .....	45	$\pm 6,16$	40
TP 7 .....	67	$\pm 12,5$	40
CT 2 .....	81	$\pm 15,7$	10

Pour une dose de 1.000 roentgens et pour la tumeur CB 1, il atteint  $63 \text{ j} \pm 16,7$  par exemple. Il augmente avec l'irradiation et, a priori, il constitue un critère meilleur que le précédent en ce sens qu'il paraît indépendant de facteurs subjectifs.

Mais, en fait, la mort d'un animal porteur d'une tumeur est souvent conditionnée par des infections intercurrentes et la dispersion des résultats est également importante.

c) *Vitesse de croissance :*

La vitesse de croissance de la tumeur peut être estimée facilement en mesurant au pied à coulisse les dimensions de la tumeur. Les mesures peuvent différer d'un expérimentateur à l'autre, mais pour un même observateur les écarts entre plusieurs mesures identiques restent relativement faibles.

Les courbes que l'on obtient dans ces conditions peuvent avoir des aspects très différents.

Dans certains cas, nous avons obtenu des courbes parallèles simplement décalées à leur origine (Figure n° 3).

Dans d'autres cas, au contraire, on obtient un décalage de l'origine mais en même temps une modification de la pente de la courbe (Figure n° 4).

Le décalage à l'origine s'explique facilement si l'on admet que l'agent thérapeutique a détruit une fraction importante des cellules. Dans ce cas, il faut laisser à la tumeur le temps de reconstituer sa population cellulaire avant qu'elle ne puisse reprendre sa croissance normale.

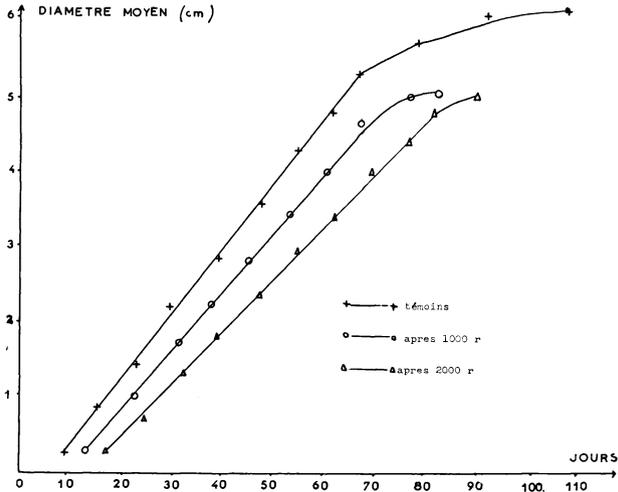


FIGURE 3. — Vitesse de développement de la tumeur CT 2, caractérisée par la mesure du diamètre tumoral moyen au cours du temps.

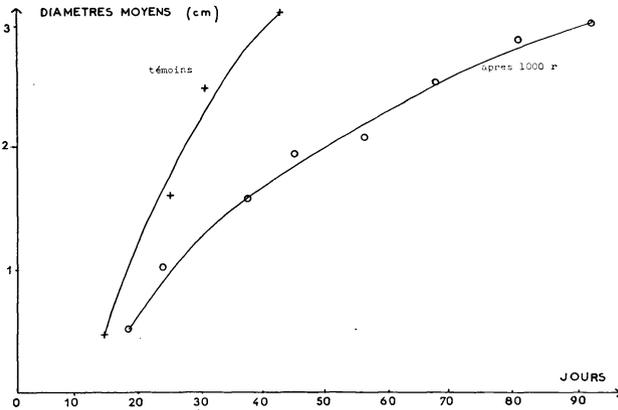


FIGURE 4. — Vitesse de développement de la tumeur CB 1, caractérisée par la mesure du diamètre tumoral moyen au cours du temps. Noter la différence de pentes entre les courbes.

Par contre, la modification de la pente de la courbe de croissance ne peut se comprendre que si l'on admet soit une augmentation des défenses de l'hôte à l'égard de sa tumeur, soit une modification permanente des propriétés de cette dernière.

Dans le cas de la tumeur CB 1, nous avons pu montrer que les deux phénomènes pouvaient exister simultanément.

Cette tumeur isologue possède en effet des antigènes spécifiques, et il est parfaitement possible d'immuniser un animal contre cette tumeur en le greffant au préalable avec un greffon tumoral stérilisé à 7.000 roentgens (Figure n° 5).

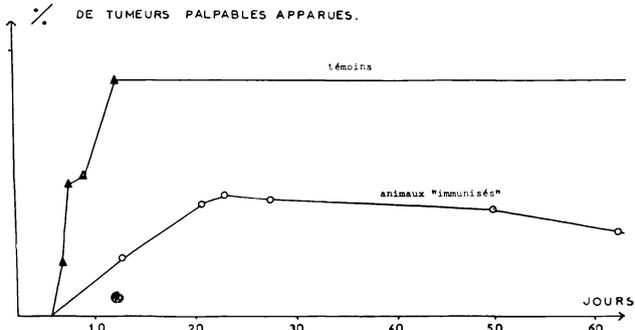


FIGURE 5. — Dates d'apparition et de régression de tumeurs CB 1 chez des animaux témoins et des animaux « immunisés » par deux greffes préalables de tumeur CB 1, irradiée à 7000 r (un mois et quinze jours avant la transplantation).

De plus, cette tumeur, lorsqu'elle est irradiée à une dose suffisante, peut présenter une modification permanente et transmissible de sa virulence (OTH, ROBERT, BURG [18]).

L'explication du phénomène est difficile.

Il ne s'agit certainement pas d'une mutation au sens génétique du terme (mutation radio-induite).

On se trouve plus probablement en présence d'un phénomène de sélection.

Comme on le sait, la population cellulaire des tumeurs est très hétérogène, et on peut admettre que sous l'action des rayons X, les éléments à prolifération plus rapide ont été éliminés au profit des cellules à développement plus lent.

#### d) Taux de prise et taux de mortalité :

Nous nous sommes également efforcés d'établir une courbe dose-réponse en mesurant le taux de prise en fonction de la dose d'irradiation. Les résultats de l'expérience sont représentés sur la Figure n° 6.

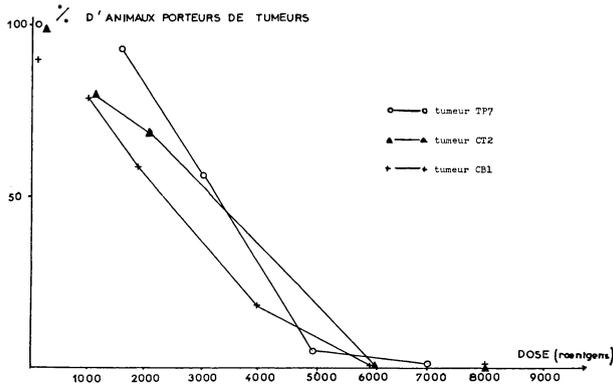


FIGURE 6. — Taux de prise de greffes tumorales, après irradiation in vivo de trois tumeurs.

L'allure exacte de la courbe est difficile à déterminer car cela aurait exigé un nombre d'animaux plus important, mais elle a très probablement une allure sigmoïde.

Dans sa première partie, c'est-à-dire pour des doses très faibles, le taux de prise n'est pas affecté, ou très peu. Cela se comprend facilement : dans nos expériences, le nombre de cellules injectées est d'environ 200.000, et l'on sait par les travaux de HEWITT et WILSON qu'une greffe peut prendre avec un nombre de cellules injectées beaucoup plus faible.

Une réduction du taux de prise dans nos expériences exige donc que l'agent utilisé (dans le cas particulier, les rayons X) réduise le nombre de cellules viables dans une proportion très importante.

La seconde partie de la courbe peut être assimilée à une droite.

Il est très facile de déterminer ainsi une DL 50 \*. A titre d'exemple, pour les trois tumeurs précitées, nous avons :

CB 1 .....	2.500 roentgens
TP 7 .....	3.200 —
CT 2 .....	3.100 —

Cette valeur de la DL 50 se prête très facilement à la mesure de l'action d'un agent sur la radiosensibilité d'une tumeur.

e) *Taux de mortalité :*

A première vue, on est tenté de le considérer comme identique au taux de prise et devant toujours donner le même résultat que ce dernier.

\* DL 50 : Dose qui réduit le taux de prise à 50 %.

En fait, ce n'est pas toujours vrai, et il nous est souvent arrivé de rencontrer des tumeurs qui prennent normalement à 100 %, et qui, après l'action d'agents pharmacologiques ou physiques quelque peu actifs, présentent des phénomènes de régression. Il est vrai que dans le cas des tumeurs précitées, nous avons pu montrer qu'elles avaient des antigènes spécifiques distincts des antigènes tissulaires normaux, et il est possible que des phénomènes immunologiques secondaires aient compliqué les données du problème.

f) *Conclusion.*

Cette méthode permet donc de mesurer assez correctement l'action des radiations ou de tout autre agent anti-tumoral.

Parmi les différents critères étudiés, l'augmentation du délai d'apparition, l'augmentation du temps de survie et la vitesse de croissance peuvent être utilisées lorsque l'agent étudié n'affecte pas le taux de prise.

Par contre, dès que le pourcentage de greffes positives diminue de façon significative, les précédents critères ne restent plus valables, et il faut utiliser soit la variation du taux de prise, soit le taux de mortalité.

### **ESSAIS D'APPLICATION A L'ETUDE DE PHENOMENES DE SYNERGIE ENTRE AGENTS PHARMACOLOGIQUES ET RAYONS X**

Cette méthode se prête bien à l'étude de phénomènes de synergie entre les rayons X et un agent pharmacologique. Nous l'avons essayée sur un certain nombre de produits, et nous voudrions rapporter les résultats positifs obtenus sur la tumeur TP 7 avec deux de ces produits, très différents d'ailleurs l'un de l'autre à tous points de vue.

#### **A. - Influence du Morpholinylethylrutoside**

Le Morpholinylethylrutoside est un facteur vitaminique P, facteur pouvant agir sur la radiosensibilité de certaines tumeurs [3]. Nous l'avons administré, en association avec de l'acide ascorbique, aussi bien aux animaux donneurs de tumeur (« avant l'irradiation »), qu'aux animaux recevant les fragments de tumeur irradiée (« après l'irradiation »).

Lorsque le traitement a été donné en dose massive et au site même de la tumeur, la radiosensibilisation s'est manifestée par une nette diminution de la vitesse de pousse des tumeurs et par l'augmentation de la survie des animaux greffés (Figures 7 et 8).

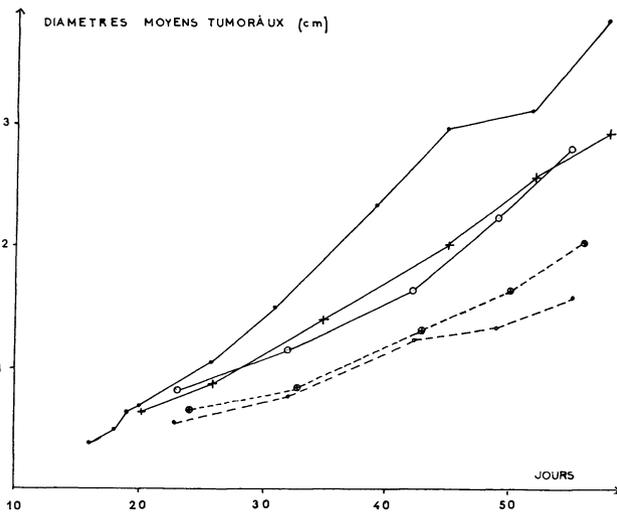


Figure 7. — Action du Morpholinyethylrutoside + acide ascorbique (in situ), sur la vitesse de développement de la tumeur TP 7 irradiée et non irradiée.

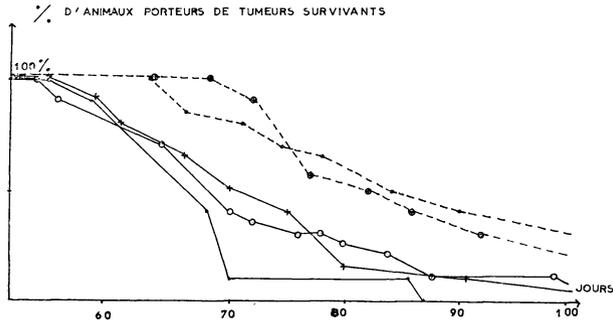


Figure 8. — Action du Morpholinyethylrutoside + acide ascorbique (in situ), sur la survie des porteurs de la tumeur TP 7 irradiée et non irradiée.

- — ● Témoins. Aucun traitement. 10/10\* (68,7 ± 7,3)\*\*.
- + — + Irradiation seule. Les animaux reçoivent des fragments de tumeur irradiée à 1.500 r. 19/20\* (75,6 ± 13,8)\*\*.
- — ○ Traitement pharmacologique seul. Les animaux reçoivent 15 mg du produit en même temps que les fragments de tumeur intacte. Le lendemain, on injecte 10 mg supplémentaires dans le site même de la transplantation. 20/20\* (75,9 ± 19,2)\*\*.
- ⊕ --- ⊕ Traitement pharmacologique succédant à l'irradiation. Les animaux reçoivent des fragments de tumeur irradiée à 1.500 r, en même temps qu'un traitement pharmacologique identique à celui du groupe précédent. 20/20\* (92,9 ± 21,9)\*\*.
- - - - ● Traitement pharmacologique précédant l'irradiation. Pendant cinq jours, on injecte 10 mg de produit dans la tumeur même. Le cinquième jour, la tumeur est irradiée à 1.500 r et transplantée sur vingt animaux, sans aucun autre traitement. 17/20\* (92,7 ± 26)\*\*.

\* Taux de prise.

\*\* Survie moyenne ± écart - type (en jours).



Par contre, si le traitement est donné à petites doses répétées et par la voie intramusculaire, aucune action n'est observée quant à la modification de la vitesse de pousse des tumeurs traitées (Figure 9).

### B. - Influence du Sulfate de Vinblastine

Administré à petites doses par la voie sous-cutanée, l'action radiosensibilisante de ce cytostatique se traduit cette fois-ci par une diminution significative du taux de prise chez les animaux greffés (Figure 10). Alors que le taux de prise reste égal à 100 % chez les animaux recevant le cytostatique seul, il tombe à 70 % si la tumeur a été seulement irradiée à 2.250 roentgens, à 45 % si le traitement pharmacologique est appliqué aux animaux recevant les fragments de tumeurs irradiée, et à 19 % dans le cas où le traitement pharmacologique est administré au donneur de tumeur irradiée.

Ces deux exemples illustrent l'efficacité de cette méthode simple. Nous n'avons pas encore rencontré de substance dont l'action potentialisatrice des rayons X dépende de façon très étroite du moment où elle est administrée, soit avant, soit après l'irradiation.

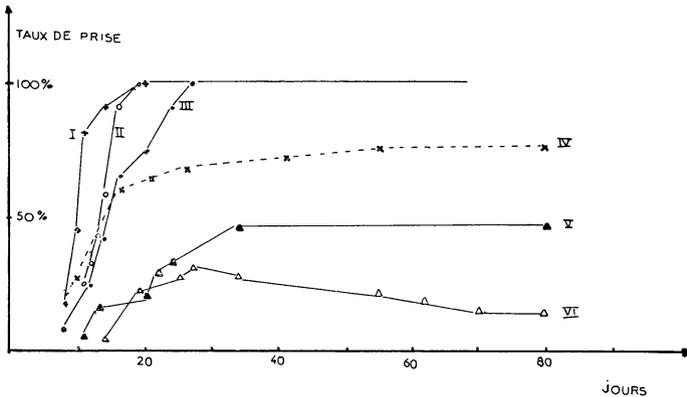


FIGURE 10. — Action du sulfate de vinblastine.

- Groupe I: Témoins - aucun traitement - (50)\*\*
- Groupe II: Sulfate de vinblastine seul avant la greffe\* (12)\*\*
- Groupe III: » » » après la greffe\* (12)\*\*
- Groupe IV: Irradiation à 2250 r de la tumeur, seule (26)\*\*
- Groupe V: Combinaison des traitements IV et III (24)\*\*
- Groupe VI: » » » II et IV (26)\*\*

\* 0,01 mg de sulfate de vinblastine en sous-cutané pendant six jours à chaque animal.

\*\* Nombre d'animaux greffés.

Cependant, les expériences préliminaires qui sont actuellement en cours avec d'autres produits semblent montrer que la chronologie du traitement par rapport à l'irradiation peut jouer un rôle important pour l'efficacité de la radiosensibilisation. Ainsi il sera peut-être possible, par cette méthode, de distinguer des radiosensibilisateurs agissant par des mécanismes différents, selon qu'ils agissent « avant irradiation » ou bien « après irradiation ».

*Travail effectué au Laboratoire de Biophysique médicale  
de la Faculté de Médecine et au Laboratoire de Biologie  
animale de la Faculté des Sciences - Nancy*

\*  
\* \*

Nous voudrions remercier M<sup>lle</sup> GIRARD pour sa collaboration à ce travail, ainsi que les Laboratoires DAUSSE, et ELI LILLY FRANCE, qui nous ont obligeamment offert les produits étudiés.

#### BIBLIOGRAPHIE

Le lecteur trouvera dans les références [1] et [2] une revue détaillée des publications concernant la radiosensibilité des tumeurs expérimentales.

- [1] ABBATUCCI (S.), JACQUET (J.), JACOB (P.). — Radiobiologie expérimentale des tumeurs.  
*Ann. Radiol.* 5 : 379 (1962).
- [2] ABBATUCCI (S.), JACQUET (J.), JACOB (P.). — Nouvelles acquisitions sur la radiobiologie expérimentale des tumeurs.  
*Revue de Pathologie générale et physiologie clinique.* 63 : 467 (1963).
- [3] BARTH (G.), GRAEBNER (H.). — Zusätzliche medikamentöse Behandlung des Tumorbettes : II Mitteilung.  
*Strahlentherapie* 115 : 310 (1961).
- [4] BERRY (R.), ANDREWS (R.). — Quantitative relationships between radiation dose and the reproductive capacity of tumor cells in a mammalian system in vivo.  
*Radiology* 77 : 824 (1961).
- [5] BERRY (R.), ANDREWS (R.). — The response of mammalian tumor cells in vivo to radiations of differing ionisation densities (LET).  
*Annals of the New York Academy of Sciences*, 114 : 48 (1964).
- [6] BACLESSE (F.), DUPLAN (J.F.), ROYER (R.). — Méthode d'évaluation de la radiosensibilisation des cellules cancéreuses.
- [7] CHEVALLIER (A.), MANUEL (S.), CHATEAU (D.). — Recherches sur l'action biologique d'une irradiation localisée portant sur un organisme complexe.  
*Ann. Radiol.* 6 : 239 (1963).

- [8] GOLDFEDER (A.). — Further studies on the relation between radiation effects cell viability and induced resistance to malignant growth.  
*Radiology* 49 : 724 (1947).
  - [9] GOLDFEDER (A.). — Further studies on the radiosensitivity of tumors autogenous to homozygous hosts.  
*Radiology* 52 : 230 (1949).
  - [10] GOLDFEDER (A.). — Further studies on the radiosensitivity of the analogous mouse mammary tumors dbr B and C3H.  
*Radiology* 57 : 845 (1951).
  - [11] GOLDFEDER (A.). — Studies of radiosensibility and immunizing ability of mammary tumors in mice.  
*British Journal of Cancer* 8 : 320 (1954).
  - [12] GOLDFEDER (A.). — Response of neoplastic cells in vitro to ionizing radiation.  
*Annals of the New York Academy of Sciences* 95 : 796 (1961).
  - [13] GWATKIN (R.), THOMSON (J.). — A new method for dispersing the cells of mammalian.  
*Nature*, 201 : 1242 (1964).
  - [14] HEWITT (H.). — Studies of the dissemination and quantitative transplantation of a lymphocytic leukemia of CBA mice.  
*British Journal of Cancer* 12 : 378 (1958).
  - [15] HEWITT (H.), WILSON (W.). — A survival curve for mammalian leukemia cells irradiated in vivo (implications for the treatment of mouse leukemia by whole body irradiation).  
*British Journal of Cancer* 13 : 69 (1959).
  - [16] LAMERTON. — Communication personnelle.
  - [17] MALAISE (E.), TUBIANA (M.), BARSKI (G.). — Nombre de chromosomes et radiosensibilité des tumeurs expérimentales.  
*Journal de Radiologie et d'Electrologie* 45 : 101 (1964).
  - [18] OTH (D.), ROBERT (J.), RAUBER (G.), BURG (C.). — Modification permanente et transmissible de la virulence d'une tumeur isologue solide après irradiation X.  
*Comptes rendus Soc. Biol.* 159 : 194 (1965).
  - [19] RÉVÉSZ (L.). — Detection of antigenic differences in isologous host tumor systems by pretreatment with heavily irradiated tumor cells.  
*Cancer Research* 20 : 443 (1960).
  - [20] SCOTT (O.C.A.). — Some aspects of the effect of ionizing radiation on tumors, in « Advances in Biological and Med. Physics ». *Academic Press - New York - 1 vol. : 121-173 (1958).*
  - [21] SILINI (G.), HORNSEY (S.), EBERT (M.). — Tumor growth and cell viability of irradiated Ehrlich ascites carcinoma in the mouse.  
*Int. J. Rad. Biol.* 5 : 45 (1962).
  - [22] ZILBER (L.). — Specific tumor antigens, in « Advances in cancer research ». *Academic Press - New York - 1 vol. : 291-329 (1958).*
-



## XV<sup>e</sup> CONGRÈS INTERNATIONAL D'ASTRONAUTIQUE DE VARSOVIE \*

par

Alexandre KAPLAN \*\*

Le Palais de la Culture, à  
Varsovie, où a siégé le XV<sup>e</sup>  
Congrès international d'Astro-  
nautique

### Préambule.

Du 7 au 12 septembre 1964, s'est tenu à Varsovie le XV<sup>e</sup> Congrès de la Fédération Astronautique Internationale.

Cet important Congrès, présidé par M. Edmond BRUN, Professeur à la Sorbonne et Président de la Fédération Astronautique Internationale (F.A.I.), a réuni plus de cinq cents Congressistes de vingt-cinq pays, certains de ces pays, comme les Etats-Unis, étant représentés par plus de cent participants (1).

La France était représentée par quarante-deux délégués, venant au quatrième rang des délégations par ordre d'importance, après les Etats-Unis, la Pologne et l'U.R.S.S.

Ce Congrès, un des plus instructifs qui s'est tenu depuis la fondation de la F.A.I., a comporté trois sessions principales :

— La première session, consacrée aux problèmes de l'EXPLORATION DE LA LUNE PAR L'HOMME, a traité du choix des trajectoires lunaires optima, des conditions de l'alunissage, du retour sur terre des

---

\* Note présentée à la séance du 19 décembre 1964.

\*\* Président de la Section Lorraine de la Société Française d'Astronautique.

(1) Autriche, Argentine, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Etats-Unis, France, Grande-Bretagne, Grèce, Hongrie, Inde, Israël, Italie, Japon, Pérou, Pologne, République Fédérale Allemande, République Démocratique Allemande, Roumanie, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, U.R.S.S., Yougoslavie.

cosmonautes, de leur protection contre les radiations au cours du vol, etc...

- La seconde session, consacrée AUX PROBLÈMES GÉNÉRAUX DE L'ASTRONAUTIQUE, a permis une confrontation très étendue des études relatives aux problèmes de la bioastronautique, de l'énergie au bord des véhicules spatiaux, de la mécanique céleste, de la physique de la rentrée dans l'atmosphère, ainsi que des problèmes concernant les diverses familles de satellites artificiels, les installations au sol et la création du laboratoire lunaire.
- Enfin, la troisième session fut consacrée aux problèmes spéciaux de l'ENSEIGNEMENT de l'Astronautique et du comportement des véhicules spatiaux en milieu ionisé.

Tels ont été les problèmes débattus dans les diverses Commissions du Congrès. Il y a seulement cinquante ans, la seule énumération de ces problèmes aurait fait douter de l'état psychique de celui qui aurait voulu en parler sérieusement. Mais bien des choses ont changé depuis cinquante ans, et aujourd'hui, les savants éminents de tous les pays du monde se penchent avec le plus grand sérieux sur ces problèmes, souvent ardues et pas faciles à résoudre.

Il suffit d'ailleurs d'énumérer les principaux savants ayant pris part à ces débats pour se rendre bien compte du fait qu'il ne s'agit

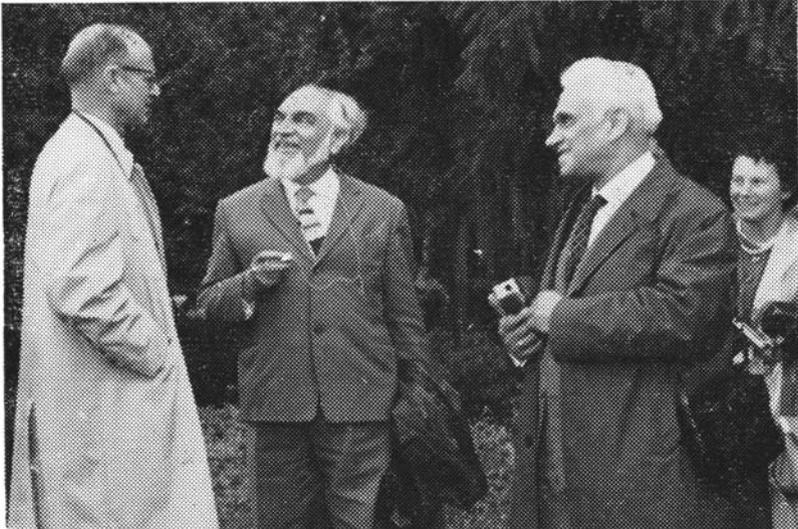


FIG. 2. — Le père des « Rangers » avec le père des « Luniks ». Le Dr PICKERING, père des « Rangers », en conversation avec le Dr STERNFELD père des « Luniks », en compagnie de M. KAPLAN, qui fait office d'interprète.

plus de plaisanterie ni de science-fiction mais de science véritable. Citons-en quelques-uns des plus éminents :

*Etats-Unis* : PICKERING, CAMPBELL, SINGER, HAYES, DRAPER, HALEY, SUMMERFIELD, JONES, KEATS, FINCH, MAC CARTHY, ATTALA.

*U.R.S.S.* : SEDOV, BLAGONRAVOV, Ary STERNFELD, SISSAKIAN, DUBOCHINE, KONDRATEV, LEBEDINSKY, KGPININE, VINNIKOV.

*France* : BRUN, MOUREU, TARDI, CONTENSOU, GENTY, POGGI, BLOSSET, CHEVALIER, BERNARD, ANGIBOUST.

*Pologne* : LUNC, BARTKOWSKI, BARANSKI, JURCZAK, CZERSKI.

*Grande-Bretagne* : SHEPHERD, PARDOE, HILTON, STODDART, SHARMAN.

*Belgique* : GUEERTES, MALINA, NICOLET, JAUMOTTE.

*Allemagne* : KAYSER.

*Suède* : CLEMEDSON.

*Italie* : MARGARIA, CAVAGNA.

Etc..., etc...

### **Film de la Lune.**

Lors de la séance d'ouverture et à l'issue des discours d'usage et de l'exposé des résultats acquis, le Dr PICKERING, Directeur du « Projet Ranger », et son adjoint le Dr SCHURMEER, nous ont parlé de l'aventure de « Ranger VII », qui a pris 4.316 photos de la surface lunaire et ont projeté devant l'assistance, ravie de cette aubaine, le film qu'ils ont monté avec ces photographies dans l'ordre d'approche vers la Lune et qui ont fait vivre les spectateurs sur le « Ranger VII » depuis les premières images prises à 800 kms d'altitude lunaire jusqu'aux quelque 300 mètres avant l'impact final de l'engin (\*).

Tranquillement assis dans leurs fauteuils, les spectateurs voyaient le sol lunaire se rapprocher d'eux comme s'ils étaient en train de descendre eux-mêmes sur la Lune. Les premières photographies nous donnaient l'image familière de la Lune, avec ses mers, ses montagnes, ses cirques connus et répertoriés depuis bien longtemps. Mais, petit à petit, des détails inconnus à ce jour commençaient à apparaître. Dans les étendues des mers qui, jusqu'à présent, nous ont toujours paru parfaitement lisses, surgissaient des petits cratères qui grossissaient au fur et à mesure pendant que d'autres cratères, encore plus petits et dont on ne soupçonnait même pas l'existence l'instant d'avant, devenaient visibles.

---

(\*) Film projeté à Nancy le 5 février 1965.

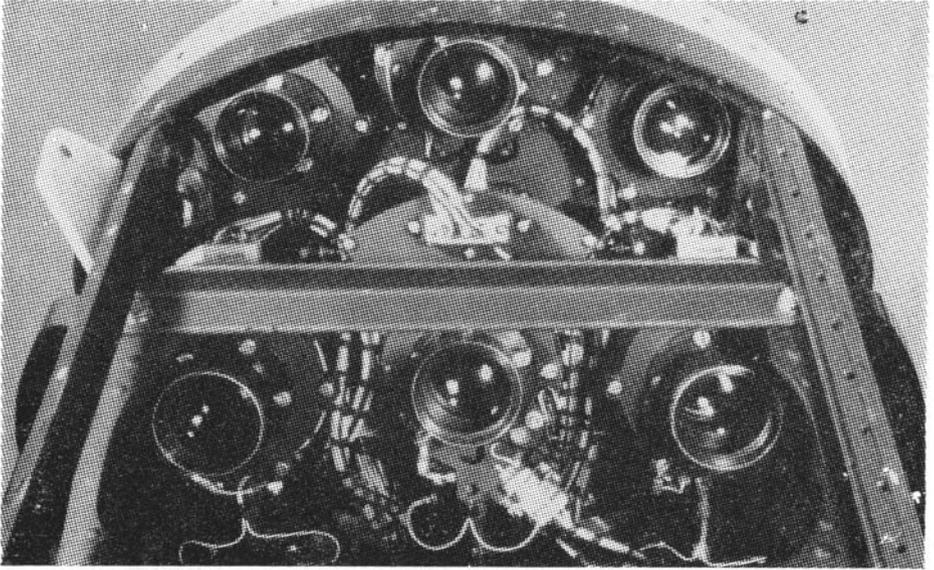


FIG. 3. — Les caméras du « Ranger VII » qui ont photographié la Lune.

Plus le « Ranger VII » se rapprochait de la Lune, plus se rétrécissait la superficie filmée par ses caméras. Les grands cratères que nous connaissions bien et qui grandissaient à vue d'œil, finissaient par sortir du champ de vision, et on ne voyait plus qu'une étendue plate avec, par-ci par-là, quelques cratères de petite taille, le restant du sol étant parsemé d'une multitude de boursoufflures et de petits trous — minuscules craterlets formés probablement par le choc des météorites tombant du ciel.

Enfin, la dernière photographie, prise à quelque trois cents mètres du sol lunaire — la hauteur de la Tour Eiffel — montre une surface ondulée, parsemée de petites excavations, rondes ou elliptiques, et ayant à peine un mètre de diamètre et quelques 20 à 30 centimètres de profondeur.

Ce remarquable film a soulevé un peu le voile de mystère qui entoure le sol lunaire. Sans pouvoir nous fixer sur la nature de ce sol qui nous reste encore inconnue, les photographies de « Ranger VII » nous ont permis par contre de connaître sa forme et par là, l'épaisseur d'ailleurs peu importante de la couche de poussière qui le recouvre. En effet, si comme on le pensait couramment avant cet exploit — la Lune était recouverte d'une épaisse couche de poussière dans laquelle les

véhicules spatiaux risquaient de s'enfoncer à l'alunissage, — une telle couche épaisse aurait noyé toutes les irrégularités de la surface lunaire et on n'aurait pas pu apercevoir — comme on le voit si bien sur les photos de « Ranger VII » — les boursoufflures et les excavations de faibles dimensions qui parsèment le sol lunaire.

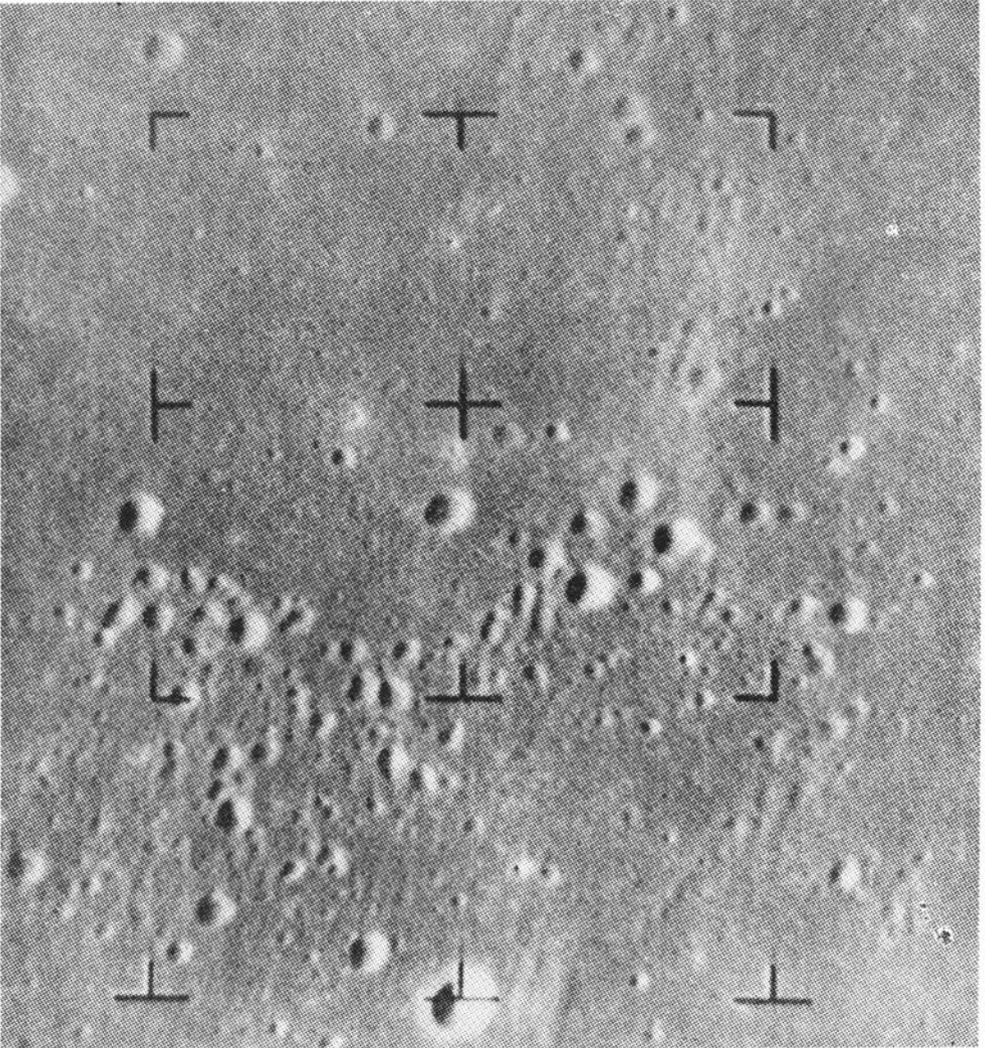
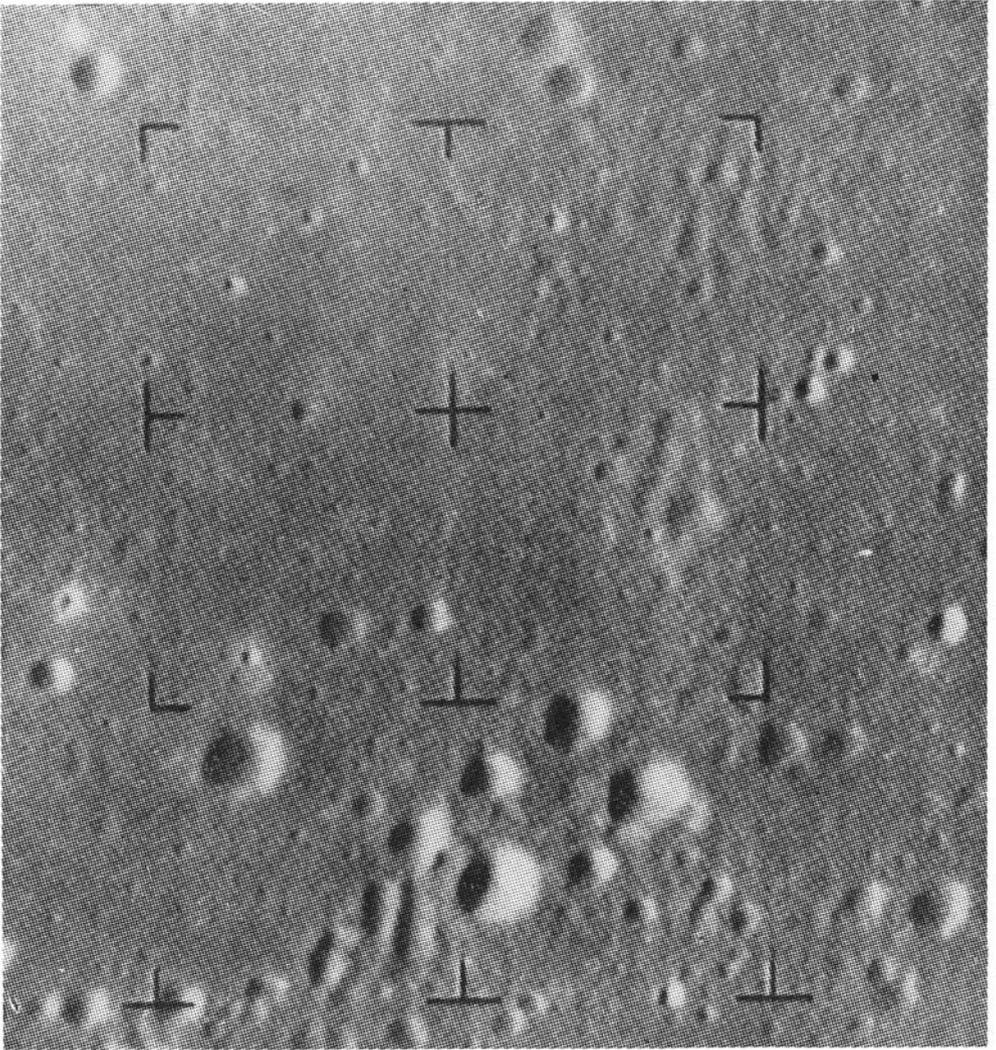


FIG. 4. — Deux photos prises successivement à 10 secondes d'intervalle par le « Ranger VII » à 59 km et 33 km du sol lunaire et qui permettent de se rendre compte de la vitesse du mouvement d'approche (pages 172 et 173).



### **Exploration de la Lune par l'Homme.**

Lors des séances consacrées à la session relative à « l'Exploration de la Lune par l'Homme », plusieurs sections ont étudié séparément les divers aspects de ce vaste problème : programmation des vols, technique de propulsion, navigation, laboratoire lunaire international...

### Programme de vols.

Cette section a examiné les problèmes du choix des trajectoires aussi bien pour le voyage Terre-Lune que pour le rendez-vous spatial lors d'une mission circumlunaire. Au cours d'une des séances de cette section, les Américains ont projeté leur film en couleur sur le projet « Apollo ». Rappelons que ce projet consiste dans le lancement — prévu entre 1970 et 1975 — d'un engin spatial avec trois cosmonautes à l'aide de la super-fusée à trois étages « Saturne C-5 ». L'engin lui-même se

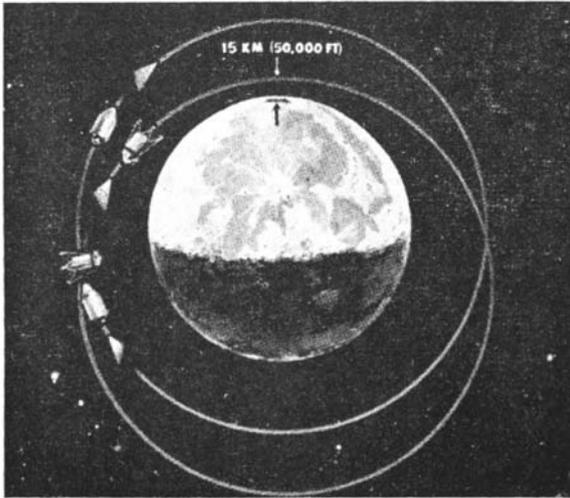


FIG. 5. — La cabine de l'APOLLO reste sur orbite lunaire. Le véhicule d'exploration s'en détache et prend une orbite elliptique de 15 km d'apogée et de même période. Si l'atterrissage n'est pas possible, le véhicule est récupéré par la cabine.

composerait de trois éléments : LEM (Lunar Excursion Model), C.M. (Command Model), et S.M. (Service Model). Une fois arrivé à proximité de la Lune, au bout d'un voyage de trois jours, l'engin serait mis sur une orbite circumlunaire et le véhicule spatial le plus petit LEM — sorte de navette — partirait depuis l'engin principal, avec deux cosmonautes, pour alunir. Après un séjour de quinze jours sur la surface lunaire et la passionnante exploration à laquelle ils se livreraient, les deux cosmonautes reviendraient sur l'engin principal, le C.M., dit « véhicule de service », retrouver leur troisième collègue qui les attendrait en tournant autour de la Lune. Ensuite, abandonnant son petit véhicule « d'excursion », le vaisseau prendrait la direction de la Terre

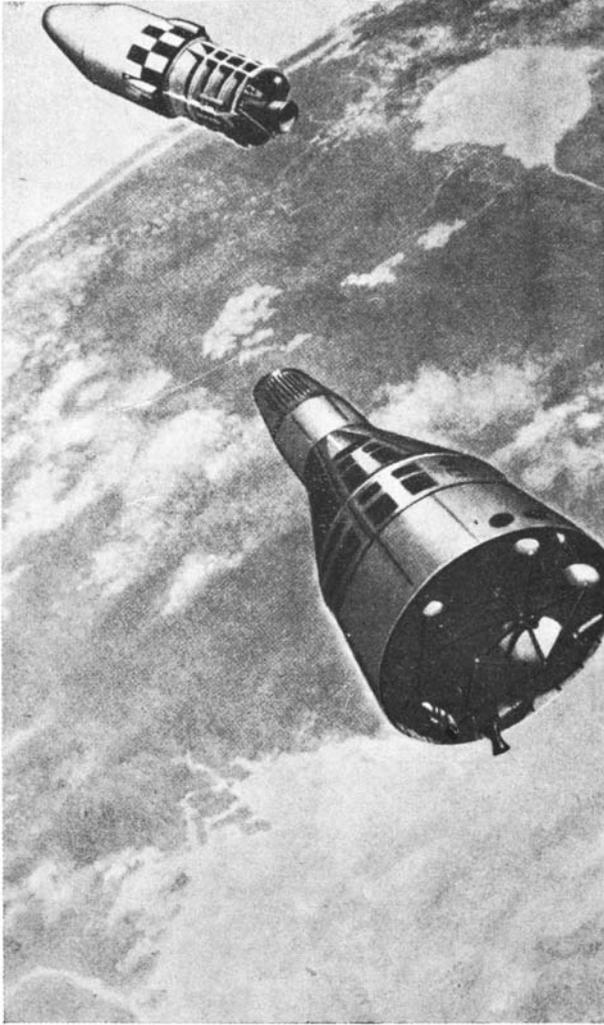


FIG. 6. — Manœuvre du « rendez-vous » spatial.

et y ramènerait l'expédition nantie de l'extraordinaire moisson de ses découvertes. A propos de ces dernières, la mission de la future expédition lunaire a déjà été bien définie :

- Etude géologique du sol, prise d'échantillons, étude du volcanisme et origine des cratères ;
- Correction des cartes géographiques de la Lune ;
- Photos en couleur et en ultra-violet ;

- Mesure des radiations solaires et cosmiques ;
- Observation de la Terre suspendue dans le vide ;
- Bases d'installation du futur observatoire lunaire.

Au cours de cette même session, plusieurs autres exposés ont été faits, notamment par les Russes sur la détermination de la déformation de la trajectoire de l'engin aux environs de la Lune, et par les Américains sur les méthodes de calcul de l'équilibre thermique des parois soumises au rayonnement du Soleil, sur les méthodes de génération d'ordres et de guidage, sur l'utilisation des méthodes de programmation dynamique pour le calcul de la trajectoire de descente optimale depuis l'orbite circumlunaire jusqu'au sol de la Lune et, enfin, sur le problème de la rentrée de l'engin dans l'atmosphère terrestre à la vitesse parabolique.

### **Techniques de propulsion.**

La section consacrée aux problèmes de la technique de propulsion a étudié plusieurs rapports — dont deux français — sur les moyens de propulsion pour l'approche et le décollage de la Lune, sur les méthodes permettant d'agir en grandeur et en direction sur le vecteur « poussée », sur les méthodes d'injection pour les fusées à propergol liquide et sur le contrôle de la propulsion.

Un exposé soviétique a été consacré à la mécanique du vol cosmique à l'aide de « faible poussée ».

Cette idée avait déjà été émise au début du XX<sup>e</sup> siècle mais, à l'époque, les travaux n'avaient qu'un caractère théorique et paraissaient d'ailleurs relever de la plus haute fantaisie.

Aujourd'hui, les projets des propulseurs à « faible poussée » font l'objet de recherches approfondies, et parmi ces recherches, il y a celle du mouvement dans l'Espace à l'aide de « voiles solaires ». En utilisant l'énergie solaire sous la forme de la pression de radiation (découverte d'ailleurs par le Prof. russe LEBEDEV), qui agirait sur des appareils récepteurs inclinés sous un certain angle par rapport au Soleil, le cosmonaute pourrait diriger son vaisseau de la même manière que le marin dirige son bateau à voile. Comme l'affirment les savants soviétiques, il suffirait que le cosmonaute soit placé préalablement sur une orbite à l'aide d'une fusée, pour qu'il puisse ensuite manœuvrer sa « voile » de manière à changer d'orbite, voire même se diriger vers d'autres planètes.

## **Navigation.**

La section de navigation a étudié le problème de guidage d'une mission lunaire. Quatre rapports ont été présentés, dont un français et trois américains, sur les méthodes de guidage par gyroscopes, sur les méthodes de navigation dites « explicites », c'est-à-dire ne reposant pas sur une trajectoire nominale calculée à priori, sur les problèmes du rendez-vous et des atterrissages « doux » et sur les méthodes de détection électromagnétiques à très grandes distances (radars, interféromètre, système Doppler) pour toutes les phases du vol dans la Lune.

Par ailleurs, un rapport intéressant a été présenté sur les problèmes suscités par l'introduction du pilotage humain dans le guidage de l'engin spatial. Faut-il se reposer entièrement sur le guidage automatique, ou faut-il permettre à l'homme d'y prendre part et quelle part ?

Dans le premier cas, le cosmonaute n'a aucune initiative, tout le guidage et tout le contrôle étant effectués par des appareils commandés de la Terre.

Dans le second cas, une calculatrice de bord établit — compte tenu des données connues à l'état « présent », — une prédiction de ce que sera l'état « final », et elle présente ce résultat au cosmonaute sous une forme visuelle commode. Il appartient alors à ce dernier de comparer l'état « final » calculé par la calculatrice avec l'état « final » voulu (par exemple, atterrissage doux, altitude au moment où la vitesse s'annule, etc...) et prendre des décisions modifiant les conditions de vol imposées automatiquement, notamment lorsqu'il s'agit des décisions de « secours ».

Enfin, un rapport a traité le problème « crucial » du retour à la Terre, ainsi que du rendez-vous spatial, notamment entre le « véhicule de service » dont nous venons de parler et le « véhicule d'excursion ». Ce rapport a montré qu'il est actuellement tout-à-fait possible de guider les opérations de rendez-vous depuis la Terre. L'exploit de « Ranger VII » a confirmé ces possibilités. Le rendez-vous lunaire sera pris par les moyens très perfectionnés de navigation situés à bord du « véhicule excursion ». Mais si ces moyens étaient défaillants et tombaient en panne, la Terre — qui restera constamment à l'affût, et qui ne sera, à aucun moment, dans l'ignorance des positions réciproques des deux véhicules — pourra corriger leurs trajectoires à chaque instant grâce aux renseignements reçus par télémessures.

## **Session générale - Bioastronautique.**

Plusieurs séances avaient été consacrées aux problèmes de bioastronautique — domaine dont l'importance est énorme pour l'avenir de l'Astronautique.

La préparation du voyage de l'Homme sur la Lune a déjà causé la mort de plusieurs animaux sacrifiés pour connaître les effets sur l'organisme humain des radiations cosmiques, des accélérations considérables et du séjour prolongé dans un milieu de non-pesanteur.

Les Russes ont irradié quatre cents chiens, dont un dixième est mort. Les Américains ont fait diverses expériences avec cent quarante-deux hommes pour étudier les conséquences d'un alunissage brutal et pour déterminer la meilleure position pour le cosmonaute.

Les Russes ont fait vivre des hommes pendant un mois dans une cellule où l'azote de l'air ambiant était remplacé par de l'hélium. Les Américains en ont fait autant et ils se proposent d'entreprendre l'an prochain des expériences plus prolongées, faisant vivre pendant six mois plusieurs hommes dans des conditions analogues à celles qui régneraient dans une cabine spatiale.

Les effets du séjour prolongé dans un milieu de non-pesanteur préoccupent beaucoup les savants, de même que la gravité réduite qui règne sur la Lune.

Par ailleurs, le séjour prolongé dans l'Espace risque de provoquer des troubles de la vue en raison du brilllement plus grand des objets — d'où risque de cécité.

La question de savoir dans quelle mesure les premiers visiteurs de la Lune pourraient s'adapter aux conditions physiques qui y règnent continue à soulever les inquiétudes des savants.

C'est ainsi que le problème de la perception spatiale a fait l'objet d'un remarquable exposé français du Professeur ANGIPOUST.

Les conditions de la vue sur la Lune sont, en effet, très spécifiques au point de vue perception de la profondeur. La faible dimension de notre satellite conduit à rendre l'horizon lunaire bien plus proche que l'horizon terrestre. L'appréciation des distances que les cosmonautes auront à faire au jugé seraient donc inexactes. Il est vrai que le cosmonaute pourrait toujours vérifier son appréciation en mesurant la distance par la marche ou la course. Cependant, les erreurs sont toujours possibles en raison du fait que la pesanteur lunaire est six fois plus faible que notre pesanteur terrestre. La dépense d'énergie nécessaire au franchissement d'une même distance sur la Lune et sur la Terre sera tout-à-fait différente. Les premiers vols cosmiques ont montré cependant que les cosmonautes conservaient leur faculté de perception de l'Espace (Vols de courte durée). Espérons qu'il en sera de même avec les premiers habitants terrestres de la Lune. Cependant, la conclusion du débat fut

qu'il sera nécessaire de rendre automatique le premier laboratoire lunaire de manière à ce que l'Homme n'ait plus qu'à surveiller ses appareils et leur poser des problèmes sans intervenir dans leur fonctionnement.

Le Professeur russe VINNIKOV a traité aussi le problème très intéressant de l'équilibre à conserver par les astronautes pendant toute la durée de leur séjour dans l'Espace, équilibre dont le siège est situé dans l'appareil vestibulaire de l'oreille interne.

Enfin, l'astrophysicien américain ATTALA a posé à l'auditoire une question à première vue insolite : « Peut-on faire une tasse de café sur la Lune ? ». Il expliqua ensuite qu'en raison de l'absence de toute pression atmosphérique sur la Lune et du fait du brutal changement de température lunaire qui passe d'un extrême à l'autre lorsque le jour succède à la nuit et vice-versa (+ 120° à midi, — 150° la nuit), les cosmonautes seront obligés d'emporter des appareils et des mécanismes spéciaux produisant de l'eau, de l'air et de la nourriture. En raison de la faible pesanteur lunaire, tous les processus mécaniques et physiques, comme par exemple la combustion, l'évaporation, l'ébullition... vont se dérouler différemment sur la Lune. L'effet de la tension superficielle va être bien plus important et, de ce fait, le liquide des containers et surtout des tubes capillaires ne va pas couler ou à peine. Tous ces processus doivent être bien étudiés de manière à ce que les cosmonautes ne se trouvent pas un jour en face de surprises désagréables. C'est alors seulement qu'on aura la réponse à la question de savoir comment faire une tasse de café sur la Lune.

Parmi d'autres problèmes intéressant le comportement de l'Homme dans l'Espace, il a été question de l'utilisation des drogues (adrénaline) pour doper les astronautes et leur permettre ainsi de mieux supporter l'apesanteur ou, par contre, les pressions énormes au départ et au retour résultant de plusieurs *g*. Mais de nombreux savants ont fait part de leurs doutes quant à l'emploi de certains médicaments ou drogues (par exemple des calmants) qui pourraient avoir un effet inverse sur un organisme en état de non-pesanteur à celui qu'ils ont sur la Terre.

D'autres savants se sont aussi demandés si le séjour prolongé de l'Homme dans les conditions de non-pesanteur, jointes à celles de l'isolement total, n'aurait pas d'effet nocif sur son moral, voire même sur son psychisme ? Et qu'advierait-il si, au cours de son long voyage à travers l'Espace, l'Homme devenait fou ? Et qu'il se mette à intervenir d'une manière désordonnée dans le guidage du véhicule à lui confié ? — guidage dont le moindre écart dans les conditions du vol spatial peut avoir immédiatement des conséquences redoutables ?

### **Energie de bord.**

Le problème de *l'énergie de bord* pour les véhicules spatiaux a été examiné par la section spéciale consacrée à cette question.

Diverses sources possibles de cette énergie ont été passées au crible :

- Etude de *l'énergie solaire* que l'on peut capter sur le véhicule pendant son voyage. Possibilités actuelles de captation de cette énergie à l'aide de cellules solaires photo-voltaïques au silicium, les seules actuellement employées. Solution de remplacement envisagées, à savoir :
  - conversion thermo-électrique ayant moindre surface et prix ;
  - conversion thermo-ionique qui présente l'avantage de prix et de poids sur les deux précédentes sources d'énergie pour des puissances allant de 100 watts à 10 kilowatts.
- Machine à vapeur, la seule solution dynamique qui demande des concentrateurs et radiateurs à températures basses. Cette solution est rentable à partir des puissances supérieures à 5 kw (projet français Phaëton).
- Batteries chimiques prévues pour des missions de trois mois à un an (cadmium nickel, cadmium argent, argent-zinc).
- Convertisseurs magneto-hydrodynamiques.

Le problème de doter le véhicule spatial de sources d'énergie propres dont il aura besoin pour alimenter en énergie électrique les appareils installés à son bord (appareils de mesure, émetteurs radio, appareils de guidage, de contrôle, de conditionnement, etc...) a une très grande importance car, sans énergie à bord, le véhicule sera sourd et muet et son lancement dans l'Espace ne présenterait aucun intérêt en dehors de la performance du lancement proprement dit.

### **Mécanique céleste et astrodynamique.**

Trois séances ont été consacrées aux exposés, la plupart très mathématiques et théoriques, comportant un trop grand nombre de calculs et de formules.

### **Physique de la rentrée dans l'atmosphère.**

Des séances ont été consacrées aux problèmes de la physique de la rentrée dans l'atmosphère du véhicule spatial lors de son retour sur la Terre. Angle sous lequel il doit aborder l'atmosphère terrestre pour

éviter un échauffement exagéré de son enveloppe, la protection de cette enveloppe contre les hautes températures, la vitesse de traversée des couches atmosphériques, les problèmes du freinage et d'atterrissage, etc...

### **Satellites artificiels.**

Plusieurs séances ont permis de se pencher sur l'étude des diverses catégories de satellites artificiels, à savoir :

— *Satellites météorologiques :*

Systèmes de satellites météorologiques, problèmes de l'équilibre de températures d'un satellite en orbite, commentaire sur les photos prises à 1.000 km par le satellite « Nimbus » mis en orbite fin août 1964.

Une communication britannique a étudié l'avantage pour l'hémisphère Nord de lancer un satellite météo sur une orbite inclinée à 60° sur l'Equateur et un exposé polonais a commenté l'influence de la réfraction sur l'observation et le « tracking » des satellites, depuis la Terre.

— *Satellites de communication :*

Ce genre de satellites se divise en deux groupes :

— les satellites « passifs » comme les « Echo », simples ballons dont les sphères métallisées réfléchissent les ondes électromagnétiques qu'elles reçoivent d'un point de la terre (émission) pour le renvoyer à un autre point (réception) et

— les satellites « actifs » genre « Telstar » et « Relay », qui possèdent leurs propres sources d'énergie et qui reçoivent les ondes envoyées de la Terre pour émettre à leur tour des ondes amplifiées vers les points de réception terrestre (liaison Andover - Pleumeur - Bodou).

D'après les résultats obtenus par la N.A.S.A., ils s'avère que les satellites « actifs » sont bien plus avantageux et plus efficaces que les satellites « passifs ».

Dans le groupe de satellites de communication, il faut aussi classer les satellites de « 24 heures » dits « satellites stationnaires ». Lancés à une altitude de 36.000 km, ces satellites tournent à la même vitesse que la Terre, faisant le tour de cette dernière en 24 heures et paraissant, de ce fait, immobiles dans le ciel. Les Américains ont déjà lancé, il y a un an, un tel satellite « Syncom » et ils ont donné des détails sur les mesures de stabilisation de cet engin et sur les résultats de son fonctionnement. Le programme américain prévoit le lancement, en 1966, de trois satellites stationnaires, formant trois

sommets d'un triangle autour de la Terre et étant, de ce fait, capables d'assurer la transmission des communications à tous les points du globe terrestre (radiotéléphonie, radiotélégraphie, émission des programmes scolaires en mondiovision vers l'Inde, l'Afrique, l'Asie).

— *Satellites géodésiques* :

Enfin, plusieurs exposés concernaient les satellites géodésiques, les méthodes de mesures faisant apparaître la notion de station relative par rapport à une station de base et mettant en œuvre l'effet « Doppler-Fizeau » et les résultats déjà obtenus par le satellite américain « Secor ».

### **Installations au sol.**

L'étude des installations au sol avait été introduite au XIV<sup>e</sup> Congrès de la F.A.I. sous la forme d'une table ronde. Les auteurs se sont maintenus dans une certaine réserve quant aux projets de réalisation à effectuer, en raison des aspects financiers, militaires et politiques de ces problèmes.

Les représentants des pays qui ont — de par leur situation géographique — des sites qu'ils pourraient offrir, sont restés sur une prudente réserve, ce qui ne fut pas tout-à-fait dans l'esprit d'un Congrès scientifique où les opinions et les théories les plus diverses doivent s'exprimer en toute liberté et en toute indépendance.

### **Laboratoire lunaire.**

Concernant la création de la future base lunaire, les Américains ont exposé les difficultés auxquelles on doit se heurter en sortant de la gravitation  $g$  de la Terre pour subir la gravitation lunaire qui n'en sera que le  $1/6^e$ . Les cosmonautes séjourneront dans une capsule qui sera, à l'intérieur, à la pression atmosphérique terrestre, alors qu'ils seront soumis, à l'extérieur, à la gravitation lunaire, instruments compris. Comment se comporteront-ils ?

Des essais ont été effectués à  $g = 0$  ou  $a \frac{g}{6}$ , mais ils ont été de courte durée et on ne peut en tirer encore de conclusions valables.

Une autre communication américaine a décrit les énormes installations en cours de réalisation à Cap Kennedy : l'importance des investissements engagés est telle qu'il est hors de doute que les Américains sont fermement décidés à réaliser tous leurs projets et notamment le projet « Apollo » de débarquement sur la Lune. Date probable : 1970-1975.

Enfin, une communication soviétique a exposé un point particulier de repérage de la position des satellites par télescope et photographie.

### **Session spéciale.**

Une session spéciale s'est tenue sous la présidence du Professeur MOUREU, Président de la Société Française d'Astronautique, consacrée à l'enseignement de l'Astronautique.

Les études scientifiques — tant théoriques qu'expérimentales — qu'entraîne la conquête de l'Espace, apporteront d'ici peu d'années des bouleversements considérables dans les méthodes et dans les réalisations industrielles. Il faut donc préparer l'Avenir — un avenir d'ailleurs très proche de nous — et songer dès à présent à former les ingénieurs et les techniciens qui seront les futurs cadres de cette Industrie.

La première séance de cette session, réservée aux réalisations déjà effectuées, a permis de comparer les diverses méthodes en usage ou en projet dans divers pays. L'exposé britannique et le matériel présente, notamment le « Handbook », ont été très remarquables. La communication française et le livre « Astronautique et Recherche Spatiale » nouvellement édité à l'usage des professeurs de l'Education Secondaire et des étudiants conjointement par le Centre National d'Etudes Spatiales (C.N.E.S.), et la Société Française d'Astronautique, a également suscité un très vif intérêt parmi les congressistes.

Les exposés américains ont montré des réalisations à l'échelle de leurs possibilités financières et de leur développement industriel et technique — et ils ont fait ressortir l'ampleur prise dans ce pays par les études et la formation des cadres dans le domaine de l'Astronautique.

Lors d'une deuxième séance, divers orateurs ont exposé les méthodes en usage ou en projet dans leurs pays, adoptant ou modifiant les cours de l'Enseignement supérieur pour les conformer aux exigences de la nouvelle science qu'est devenue l'Astronautique.

C'est ainsi que les disciplines telles que la biologie ou la physiologie qui, jusqu'à présent, pouvaient être enseignées séparément, ne le peuvent plus. Les futurs chercheurs et ingénieurs ne pourront plus, dans leurs études et réalisations, travailler isolément ou en groupes techniques étroitement spécialisés. Ils devront songer à consulter d'autres groupes avec lesquels ils n'ont eu jusqu'à présent que peu ou pas de rapports.

L'apparition de l'Astronautique est donc de nature à bouleverser l'enseignement de base et à donner à la recherche fondamentale une ouverture beaucoup plus large du fait de l'interdépendance qui s'instaure de plus en plus entre les diverses disciplines scientifiques, aussi éloignées qu'elles furent, à l'origine, l'une de l'autre.

### **Véhicules spatiaux en milieux ionisés.**

Enfin, un symposium sur les « véhicules spatiaux en milieux ionisés » a donné lieu aux communications intéressantes sur les ceintures ionisées « Van Allen » qui entourent la Terre, sur la densité et la vitesse du flux des particules ionisées, sur les effets thermoioniques et photoélectriques du plasma sur les objets la traversant et sur les effets perturbateurs qui en résultent, sur la protection du cosmonaute contre les radiations par un blindage électromagnétique, etc...

### **Conclusion.**

L'intense activité qui s'est déployée au cours des huit jours qu'a duré ce Congrès exceptionnel se prolongeait dans les couloirs par des discussions souvent passionnées entre les délégués venus des quatre coins du Monde et heureux de se retrouver et de pouvoir échanger avec leurs collègues, des idées et des résultats de leurs recherches expérimentales ou théoriques.

Le progrès va vite et dans le domaine de l'Astronautique cela est extrêmement perceptible, l'Astronautique étant, en quelque sorte, le summum des sciences et des techniques qui, toutes, concourent à lui permettre de faire des pas de géant.

Cette activité très concentrée et très étendue du Congrès était, de temps en temps, agrémentée par des réceptions offertes par le Vice-Président du Conseil des Ministres de la République de Pologne, par l'Ambassadeur de France et par les organisateurs mêmes du Congrès, ce qui n'a pas manqué de produire une agréable détente, très appréciée des Congressistes.

A l'issue du Congrès, le Dr William PICKERING, Directeur du Jet Propulsion Laboratory, père de « Ranger VII », a été élu Président de la Fédération Astronautique Internationale (F.A.I.) pour 1965, en remplacement du Professeur Edmond BRUN, et le prochain Congrès de la F.A.I. a été fixé à l'automne 1965. Il se tiendra à Athènes.

Un banquet à l'Hôtel « Europeiski » a clôturé les travaux et tous les délégués — qu'ils soient américains, russes, japonais, français, polonais, allemands, italiens, tchèques ou roumains — y ont passé une agréable soirée dans une atmosphère de bonne humeur, de gaieté et de sympathie réciproque qui n'a fait que mieux resserrer encore leurs liens amicaux.

S'il n'y avait que ce résultat, il serait déjà suffisant par lui-même, pour mettre au crédit des Congrès d'Astronautique ce rapprochement et

cette bonne compréhension mutuelle entre les hommes venus des quatre coins de la Terre, petite planète perdue dans l'immensité du Cosmos, et qui porte le destin de tous les hommes qui la peuplent.

Puisse ce Congrès servir d'exemple aux rapports de courtoisie, d'amitié, de mutuelle estime et de travail en équipe entre les hommes de races et de cultures différentes, qu'il serait souhaitable de voir s'instaurer dans tous les autres domaines entre les hommes de bonne volonté.

---

# LE MAGNETISME DES ROCHES

par

J. BOLFA, J. BABKINE, J.C. REITHLER et C. ZELLER

---

## I. - Historique.

Bien que l'influence de masses rocheuses sur l'orientation de la boussole soit connue depuis longtemps, les premières observations relatives au magnétisme des roches remontent à HUMBOLDT (1797). Ce savant, étudiant un sommet du Fichtelgebirge constitué de serpentines enclavées dans des schistes chloriteux et amphiboliques, remarqua que les axes magnétiques étaient parallèles, tous les pôles Nord se trouvant sur la pente Sud-Est et les pôles Sud sur la pente Nord-Ouest.

A la suite de HUMBOLDT de nombreux chercheurs étudièrent ces roches aimantées mais leurs résultats restèrent peu connus avant les travaux systématiques de MELLONI (1853) sur le Vésuve. Il mesura, le premier, l'aimantation permanente des roches. Il construisit à cet effet un magnétoscope, système astatique de deux longues aiguilles identiques, très éloignées l'une de l'autre pour que l'on puisse agir sur l'un des quatre pôles sans influencer les trois autres. A l'aide de cet appareil très sensible, il mit en évidence le magnétisme permanent d'une centaine de roches diverses (basaltes, trachytes et roches voisines). De plus, ayant porté au rouge des fragments de lave et les ayant laissé refroidir, il vérifia qu'ils s'étaient aimantés suivant le champ terrestre, même après refroidissement très lent. Ainsi il prouva de façon indubitable l'aimantation permanente des laves et montra qu'il fallait chercher dans l'induction terrestre l'origine de ce magnétisme.

---

\* M. le Professeur A. ROCHE a bien voulu se charger de revoir et d'apporter quelques modifications au chapitre relatif au Paléomagnétisme. Nous le remercions bien vivement.

\*\* Conférence donnée à la séance du 10 décembre 1964.

Poursuivant les travaux de MELLONI, FOLGHERAITER (1894) fit toute une série d'études sur l'aimantation permanente des roches du Latium et sur le rapport entre cette aimantation et le champ magnétique terrestre. Il conclut que la direction de l'aimantation permanente de ces roches peut donner une indication sur la direction du champ géomagnétique au moment où elles se sont formées. On définit cette orientation par la déclinaison qui est l'angle fait par le champ avec le plan du méridien géographique et l'inclinaison qui est l'angle fait par le champ avec le plan horizontal.

C'est à partir de 1900 qu'en France, BRUNHES et DAVID commencent à étudier, au point de vue magnétique, les laves d'Auvergne et les argiles sous-jacentes. L'observation des matériaux du temple gallo-romain du sommet du Puy de Dôme leur montra que la roche (la domite) avait conservé durant des millénaires, l'aimantation qu'elle avait acquise au cours de son refroidissement (1).

En 1925, CHEVALLIER étudia l'aimantation des laves de l'Etna et l'orientation du champ terrestre en Sicile du XII<sup>e</sup> au XVII<sup>e</sup> siècle. Il montra que la moyenne des déclinaisons figées par une coulée, fournit approximativement la déclinaison hors du volcan à l'époque de l'éruption et permet de bien suivre les variations séculaires ; par contre, les inclinaisons sont plus troublées. Il constata que l'intensité d'aimantation, variable dans les régions superficielles, tend vers une limite inférieure dans les régions centrales. Cette limite est constante le long d'une coulée, sensiblement fixe pour toutes les coulées historiques étudiées et voisine de 0,008 C.G.S. ; l'aimantation peut atteindre 0,015 à la surface et 0,1 en certains points. La coordination de tous les résultats de R. CHEVALLIER confirma la stabilité de l'aimantation durant des temps de l'ordre des périodes historiques.

Il ne nous est pas possible, au cours de cet exposé, de parler de toutes les recherches exécutées sur l'aimantation des roches à la suite des pionniers dont nous venons de résumer les travaux. Parmi les plus importantes, nous citerons en Allemagne, celles de KÖNIGSBERGER ; en France, celles de COULOMB, THELLIER, ROCHE ; au Japon, celles de NAGATA et de ses élèves ; en Grande-Bretagne, celles de BLACKETT et RUNCORN ; en U.R.S.S., celles de GRABOWSKY et PETROVA. Il résulte de tous ces travaux que les phénomènes sont plus complexes qu'on aurait pu le penser après les premières recherches.

---

(1) De plus, ils mirent en évidence l'existence d'aimantations de sens opposé au champ magnétique terrestre actuel dans la coulée basaltique tertiaire de Pontfavein (Cantal).

## II. - Aimantation naturelle des roches - Paléomagnétisme.

Les mécanismes d'acquisition de l'aimantation naturelle ou permanente des roches peuvent, d'après THELLIER, se schématiser de la manière suivante :

Une roche acquiert en se refroidissant, au-dessous de la température de Curie (température au-dessus de laquelle toute substance ferromagnétique perd son aimantation), une aimantation stable thermorémanente (A.T.R.) dont la direction et le sens reproduisent très généralement ceux du champ magnétique terrestre du lieu considéré.

La roche peut ensuite, éventuellement, prendre à la température ordinaire, une aimantation rémanente visqueuse (A.R.V.) acquise lentement au cours du temps sous l'action du champ magnétique terrestre. Contrairement à l'aimantation thermorémanente, elle n'est pas stable.

La roche peut encore prendre des aimantations rémanentes isothermes (A.R.I.) sous l'action des champs magnétiques dus aux courants de foudre.

Beaucoup d'autres facteurs peuvent intervenir pour déterminer l'aimantation naturelle d'une roche : certains minéraux constitutifs peuvent apparaître <sup>(1)</sup> ou disparaître par altération et par suite leurs propriétés changer, aussi doit-on s'entourer de beaucoup de précautions pour interpréter les résultats trouvés au cours des mesures.

Pratiquement, c'est seulement dans le cas où l'aimantation naturelle a une origine purement thermorémanente que les valeurs trouvées par les expérimentateurs pour la déclinaison et l'inclinaison peuvent être retenues comme caractéristiques de la formation étudiée et sont utilisables pour les synthèses générales (Paléomagnétisme).

Partant d'observations faites en Angleterre, il apparaît que les pôles géographiques auraient dérivé au long des temps géologiques, dérive puissante puisqu'elle aurait conduit le pôle Nord au Sud de l'Equateur actuel. Mais la comparaison des résultats obtenus aux U.S.A. conduit à ajouter à une dérive générale des pôles, une dérive relative des continents. Plus récemment, des études faites aux Indes et dans l'hémisphère Sud obscurcissent l'idée de dérive des pôles et conduiraient

---

(1) En particulier, à la suite d'études sur l'aimantation rémanente de dépôts chimiques, on a introduit la notion d'aimantation rémanente de cristallisation (A.R.C.) ou chimique acquise pendant la recristallisation ou la formation de la substance ferromagnétique sous l'action du champ magnétique ; cette aimantation est stable. Citons aussi l'aimantation rémanente détritique (A.R.D.) dans le cas des roches sédimentaires.

à des dérives énormes des continents les uns par rapport aux autres. On en est là et il faut attendre une clarification des idées ; mais peut-être les paléomagnéticiens, surtout en Grande-Bretagne, ont-ils été trop impétueux et ont-ils trop négligé les possibilités d'altération des aimantations anciennes, par disparition d'une part, par addition d'autre part, d'aimantations parasites, celles-ci étant particulièrement à craindre dans les roches sédimentaires dont les aimantations naturelles sont extrêmement faibles.

Il faut revenir au laboratoire, à l'étude des stabilités des aimantations et à l'analyse des aimantations superposées. L'exceptionnel intérêt qu'ont suscité les recherches paléomagnétiques justifie cet effort.

Ceci étant posé, proposons-nous, par exemple, d'étudier la direction de l'aimantation d'une formation volcanique. Les opérations à effectuer, d'après E. THELLIER et d'après A. ROCHE, sont les suivantes :

1° Repérage des endroits favorables : parois ayant été taillées à une date récente afin d'éviter l'influence d'une altération minéralogique éventuelle due aux facteurs atmosphériques.

Choix des points de prélèvement à une cote assez basse au-dessous du niveau du sol pour éviter l'influence des courants de foudre.

2° Récolte des échantillons : après s'être assuré que la roche est en place, on la coiffe, suivant la méthode de THELLIER, d'un chapeau de plâtre dont la face supérieure doit constituer un plan horizontal. Sur ce plan, on trace une direction d'azimuth connue par visée directe sur un point de l'horizon. On ne doit jamais utiliser une orientation par la boussole, celle-ci pouvant subir une déviation locale due aux fortes aimantations des roches.

3° Au laboratoire, les échantillons sont laissés pendant quelques jours dans leur orientation naturelle afin de reconstituer autant que possible leur aimantation rémanente visqueuse éventuelle existant au moment du prélèvement. Une première série de mesures est alors effectuée à la suite de laquelle les échantillons sont laissés au repos pendant plusieurs jours dans une orientation opposée à leur orientation naturelle. Une deuxième série de mesures montre si l'aimantation est stable ou instable.

On compare ensuite les valeurs obtenues pour les directions d'aimantation des différents échantillons stables de la formation étudiée. Trois cas peuvent se présenter :

a) Toutes les directions sont très voisines : il est alors probable que toutes les aimantations sont purement thermorémanentes ;

b) Une partie seulement des directions sont voisines, les autres présentant de grands écarts : seules les premières sont généralement purement thermorémanentes ;

c) Toutes les directions sont très dispersées : les composantes parasites, superposées à l'aimantation thermorémanente, peuvent être présentes dans tous les échantillons.

Il est recommandé dans tous les cas (et cela est indispensable dans le cas c) d'effectuer une analyse de l'aimantation naturelle. Cette analyse est généralement effectuée par désaimantation progressive en champ alternatif (magnétique) suivant la technique mise au point par E. THELLIER et F. RIMBERT. L'étude théorique et expérimentale des diverses aimantations montre qu'elles n'ont pas la même dureté, l'A.T.R. étant plus résistante que l'A.R.I. ou l'A.R.V. Celles-ci s'éliminent préférentiellement et on constate généralement, après action du champ alternatif, un regroupement satisfaisant des directions d'aimantation des échantillons appartenant à une même coulée autour de la valeur caractérisant l'A.T.R. de la coulée.

D'une manière générale, les différents chercheurs se sont essentiellement préoccupés de la détermination de la direction du champ à diverses époques. Pour que l'on puisse faire une synthèse de l'ensemble des résultats obtenus en différents points du globe pour des roches d'âge comparable, il est nécessaire de faire des hypothèses sur la constitution du champ magnétique terrestre. A la suite des géophysiciens britanniques (RUNCORN), on admet souvent :

a) Que la partie principale du champ magnétique terrestre est restée au cours de l'histoire de la terre assimilable à un dipôle géocentrique ;

b) Que la direction de l'axe de ce dipôle est restée voisine de celle de l'axe de rotation terrestre et que la moyenne des directions de l'axe du dipôle coïncide avec l'axe de rotation si cette moyenne est relative à une période d'au moins une dizaine de milliers d'années.

Donnons quelques exemples de sujets de recherche dans ce domaine.

1) Supposons qu'en un lieu donné, nous puissions étudier l'aimantation d'un certain nombre de coulées volcaniques mises en place à l'Oligocène par exemple, mais en des temps s'échelonnant sur quelques milliers ou dizaines de milliers d'années. La direction moyenne des aimantations permet de calculer l'orientation d'un dipôle théorique et si l'axe de ce dipôle s'identifie avec l'axe de rotation de la terre à l'Oligocène, nous pourrions déterminer le déplacement des pôles géographiques depuis l'Oligocène d'après l'angle fait par l'axe du dipôle et l'axe de rotation actuel de la Terre.

Si on exécute la même opération pour des matériaux de même âge pris dans un autre continent, ou bien on obtiendra le même dipôle et nous pourrions affirmer qu'il n'y a pas eu déplacement relatif des deux continents depuis l'Oligocène, ou bien l'orientation trouvée pour le dipôle sera différente et l'angle fait par les axes des deux dipôles nous permettra d'évaluer le déplacement relatif des deux continents.

2) On a également trouvé de nombreux cas où l'aimantation permanente est dirigée en sens inverse du champ actuel. A. ROCHE a observé en Basse Auvergne que les volcans de la chaîne des Puys, édifiés à partir du Miocène supérieur présentent des aimantations soit celle du champ terrestre actuel. Au contraire, les volcans du Mont Dore édifiés à partir du Miocène supérieur présentent des aimantations soit de sens normal, soit de sens inverse. L'explication de l'inversion fait l'objet de nombreuses discussions, les uns envisageant l'hypothèse qu'à l'époque du refroidissement de la roche, le champ magnétique terrestre était dirigé en sens inverse du champ actuel, les autres attribuant ce phénomène à certains constituants responsables du ferromagnétisme de la roche.

La détermination de l'intensité du champ ancien est beaucoup plus délicate que celle de sa direction. Peu de chercheurs ont osé s'y attaquer. Après les travaux de KÖNIGSBERGER (1935), on doit citer essentiellement les études de E. et O. THELLIER (1959) relatives à la période historique : l'intensité du champ terrestre aurait été, il y a 2000 ans environ double de l'intensité actuelle.

L'étude des relations entre l'intensité d'aimantation naturelle ou permanente et la nature minéralogique des éléments responsables du ferromagnétisme de la roche a peu tenté les chercheurs jusqu'ici ; citons toutefois les travaux de GRENET (1930) et de THELLIER (1944). Aucune liaison précise n'a pu être établie mais il est bien évident que quel que soit le mécanisme de la « fossilisation » magnétique, l'intensité d'aimantation rémanente dépend non seulement de l'intensité du champ qui l'a provoquée mais aussi de la composition minéralogique de la roche et des altérations ou additions que les aimantations originelles ont pu subir ultérieurement.

Par suite, la mise en évidence des minéraux capables de porter des rémanences magnétiques, l'étude de leurs propriétés physico-chimiques et de leurs altérations sont-elles fondamentales dans la connaissance des propriétés magnétiques des roches. C'est ce point de vue que nous nous proposons maintenant de développer.

### III. - Les propriétés magnétiques des minéraux des roches.

#### I. - GÉNÉRALITÉS.

Les minéraux des roches peuvent être classés du point de vue magnétique en diamagnétiques, paramagnétiques et ferromagnétiques. Rappelons la définition de ces trois termes. Un corps placé dans un champ magnétique  $\vec{H}$  prend en général une intensité d'aimantation  $\vec{I}$  (moment pris par unité de volume) qui a même direction que le champ :  $\vec{I} = \chi \vec{H}$  ;  $\chi$  s'appelle la susceptibilité magnétique volumique. Pour les substances diamagnétiques, cette susceptibilité est faible, négative, indépendante du champ magnétique et de la température ; pour les substances paramagnétiques, cette susceptibilité est faible, positive, indépendante du champ magnétique et inversement proportionnelle à la température absolue.

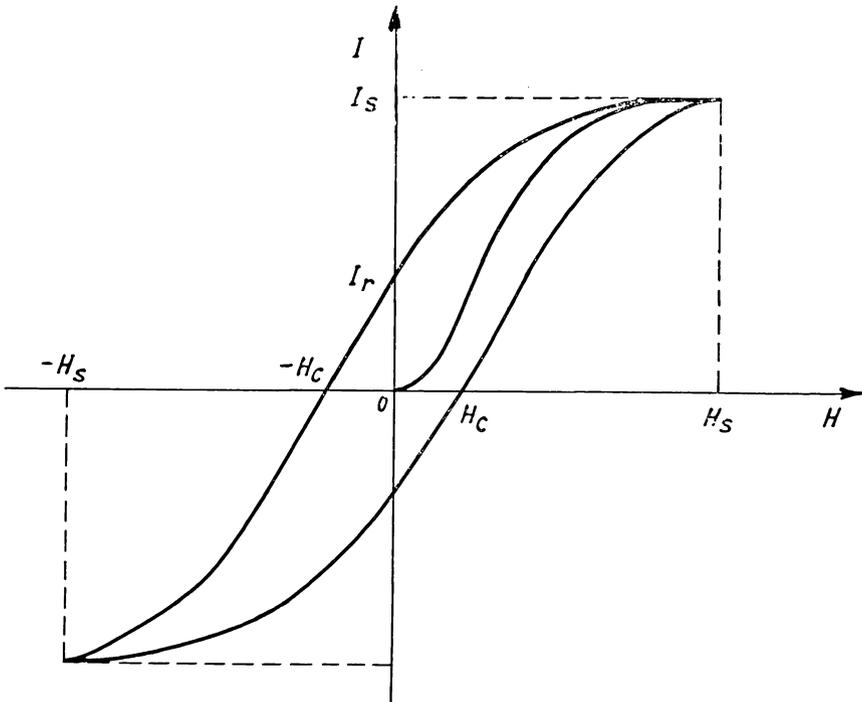


FIG. 1

Enfin, pour les corps ferromagnétiques, la susceptibilité est grande ; c'est une fonction du champ, de la température et des états antérieurs. Si on étudie la variation de l'intensité d'aimantation en fonction du champ, on trouve pour les ferromagnétiques la courbe de la Figure 1.

Elle montre que pour un champ très grand l'aimantation prend une valeur limite qui est l'aimantation à saturation  $I_s$ . Lorsque le champ est nul, le corps conserve une aimantation rémanente  $I_r$ . Si nous changeons le sens du champ, il faut appliquer un champ  $-H_c$  (champ coercitif) pour faire disparaître l'aimantation rémanente. Le cycle décrit est un cycle d'hystérésis et c'est la particularité des substances ferromagnétiques de présenter ce phénomène.

Les minéraux silicatés qui constituent la plus grande partie des roches sont soit paramagnétiques à la température ambiante, soit diamagnétiques, suivant la présence ou l'absence dans leur structure d'ions magnétiques (1), comme  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ , etc... Par exemple, le quartz et les feldspaths sont diamagnétiques, les olivines, les pyroxènes, les amphiboles, les micas, les grenats, les cordiérites sont généralement paramagnétiques. Les minéraux capables de porter des rémanences magnétiques et qui, par suite, nous intéressent au premier chef dans l'étude du magnétisme des roches sont essentiellement des oxydes mixtes de fer et de titane. De concentration faible par rapport aux autres éléments de la roche, ils se présentent en « grains » automorphes ou xénomorphes, de dimensions variables, dispersés dans un ensemble pratiquement amagnétique ou susceptible seulement d'aimantation induite faible (silice et silicates). Parmi les sulfures, la pyrrhotite ( $Fe_{1-x}S$  avec  $0 < x < 0,2$ ) est le seul minéral important dans le magnétisme des roches : il est d'ailleurs présent en proportions très faibles.

Dans le but de faire l'inventaire des principales phases des oxydes de fer et de titane (composés définis et solutions solides), il est commode de considérer le diagramme ternaire des compositions moléculaires du système  $Fe O$ ,  $Fe_2 O_3$ ,  $Ti O_2$  (Fig. 2).

Les minéraux oxydés dignes d'intérêt sont parmi les composés définis : la magnétite  $Fe_3 O_4$ , l'hématite  $\alpha Fe_2 O_3$ , la maghémite  $\gamma Fe_2 O_3$ , l'ilménite  $Fe Ti O_3$ , l'ulvöspinelle  $Fe_2 Ti O_4$ .

La wustite  $Fe O$  avait été rapportée par BRUN (1924) sous le nom d'« iozite » dans des roches volcaniques mais ce minéral n'avait pas été isolé et aucune analyse aux rayons X n'avait confirmé cette

---

(1) Les ions ont un moment magnétique que l'on exprime en magnétons grammes de Bohr. Le magnéton gramme de Bohr a comme valeur  $M_b = N \frac{eh}{4\pi m_o c} = 5587$

(où  $N$ ,  $e$ ,  $m_o$ ,  $h$  et  $c$  désignent respectivement le nombre d'Avogadro, la charge de l'électron, la masse de celui-ci, la constante de Planck et la vitesse de la lumière) d'après J.W.N. DU MOND et E.R. COHEN (*Review of Modern Physics*, 1953, 709).

détermination. Récemment, un chercheur russe, OSIPOV (1962), pense avoir identifié cette phase dans des granitoïdes de l'Altaï (grains d'iozite et de magnétite dont la partie centrale renferme du fer). D'après MARION (1955), la substance obtenue synthétiquement serait  $Fe_{1-x}O$  avec  $x \geq 0,05$  et non  $FeO$ .

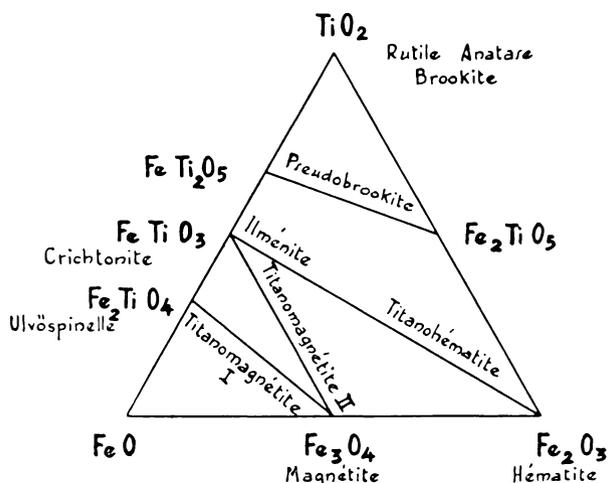


FIG. 2

Citons aussi, mais jouant un rôle beaucoup moins important, le rutile  $TiO_2$  (avec ses formes polymorphes anatase et brookite) et la pseudobrookite  $Fe_2TiO_5$ .

Parmi les solutions solides de ce système, il est maintenant bien établi par des expériences synthétiques récentes et par l'étude des minéraux extraits des roches qu'il existe deux séries fondamentales :

a) Les titanomagnétites, solutions solides entre l'ulvöspinelle  $Fe_2TiO_4$  et la magnétite  $Fe_3O_4$ , de structure spinelle. Beaucoup d'auteurs, avant les études systématiques de ces dernières années, les englobaient dans l'appellation générale de « magnétite ».

b) Les ferri-ilménites, solutions solides entre l'hématite  $\alpha Fe_2O_3$  et l'ilménite  $FeTiO_3$ , de structure rhomboédrique.

A ces deux séries fondamentales de solutions solides s'ajoutent deux séries de phases qui résultent de l'oxydation des titanomagnétites et des minéraux de la série hématite-ilménite :

c) La série des pseudobrookites, solutions solides entre les composés définis  $Fe_2TiO_5$  et  $FeTi_2O_5$ , obtenue synthétiquement par AKIMOTO,

le composé défini  $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$  étant pratiquement le seul rencontré dans les roches et auquel on donne le nom de pseudobrookite proprement dite.

d) Des phases spinelles homogènes dont la composition est comprise entre les séries  $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Fe}_2\text{TiO}_4$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeTiO}_3$  du diagramme ternaire  $\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$  résultant de l'oxydation des titanomagnétites et qu'AKIMOTO a appelé « titanomagnétites généralisées ». Les représentants de ces phases oxydées sont très nombreux dans les roches et tout particulièrement dans les roches volcaniques ; aussi la connaissance de leur structure et de leurs propriétés magnétiques est-elle d'une grande importance.

## 2. - PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ESSENTIELLES DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS.

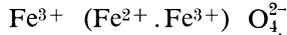
L'inventaire des phases du diagramme ternaire  $\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$  étant fait, nous allons exposer maintenant leurs propriétés physico-chimiques essentielles et tout particulièrement les propriétés magnétiques.

### A) *Les phases à structure spinelle.*

Ces phases sont : la magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , l'ulvöspinelle  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ , la maghémite  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ , les titanomagnétites et les « titanomagnétites généralisées ». Pour étudier leurs propriétés, il est indispensable de rappeler quelques points essentiels de la structure des spinelles. Le réseau des ions  $\text{O}^{2-}$  est cubique à faces centrées. Une maille du spinelle contient huit mailles du réseau d'oxygène. On distingue dans les interstices de ce réseau deux types de sites : les sites tétraédriques (A) entourés par quatre ions  $\text{O}^{2-}$  dont les centres sont les sommets d'un tétraèdre régulier, les sites octaédriques (B) entourés par six ions  $\text{O}^{2-}$  dont les centres sont les sommets d'un octaèdre régulier. La maille du spinelle contient soixante-quatre sites A et trente-deux sites B, mais l'analyse aux rayons X montre que vingt-quatre sites seulement sont occupés (huit A et seize B), sites qui ne sont pas pris au hasard mais qui occupent des positions bien définies dans le réseau. Les cations se répartissent entre ces sites suivant certaines règles semi-empiriques formulées par VERWEY et HEILMANN. Les ions  $\text{Al}^{3+}, \text{Ti}^{4+}$  occupent toujours les sites octaédriques ; les ions  $\text{Fe}^{3+}$  occupent de préférence les sites tétraédriques ; les ions  $\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$  se répartissent entre les sites laissés libres par les deux règles précédentes. Deux types de spinelles, normal et inverse, sont connus et qui diffèrent par la distribution des cations parmi les sites A et B. Si nous écrivons la formule sous la forme  $\text{X}_8\text{Y}_{16}\text{O}_{32}$  où X est :  $\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$  et Y :  $\text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+}$ ,

$\text{Cr}^{3+}$  les deux distributions sont 8 X en site A, 16 Y en site B pour le spinelle dit « normal » et 8 Y en site A, 8 X + 8 Y en site B pour le spinelle dit « inverse ». Ceci étant posé, étudions maintenant les différentes phases à structure spinelle.

LA MAGNÉTITE  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Elle est cubique et du type spinelle inverse que nous pouvons écrire sous la forme



Pour rappeler la distribution des cations, on écrit entre parenthèses les ions en position B (octaédriques) et avant la parenthèse les ions en position A (tétraédriques). Les moments magnétiques des ions  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$  sont respectivement 5 et 4 magnétons grammes de Bohr, tandis que ceux des ions  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  sont nuls. Tous les moments en site A sont parallèles entre eux, ceux en site B de même et les études de diffraction de neutrons par SHULL, WOLLAN et KOCHLER (1952) ont montré que les moments magnétiques des cations en site A et en site B sont antiparallèles. Autrement dit, le réseau des ions magnétiques est subdivisé en deux sous-réseaux mais aimantés en sens inverse. Si les moments étaient égaux dans les deux sous-réseaux le moment résultant serait nul et nous aurions une substance antiferromagnétique. Dans le cas de la magnétite, le moment résultant est :

$$\vec{5} (\vec{4} \cdot \vec{5}) = 4 \text{ magnétons de Bohr.}$$

C'est un ferrimagnétique typique dans le sens de NÉEL, la notion de ferrimagnétisme se définissant de la manière suivante : c'est une sorte d'antiferromagnétisme imparfait dans lequel les deux sous-réseaux aimantés en sens inverse sont inégaux, de sorte que subsiste une aimantation spontanée non nulle. Dans les ferromagnétiques, les moments magnétiques de tous les cations ont le même sens. Rappelons également que dans les substances antiferromagnétiques et ferrimagnétiques l'ordre magnétique disparaît toujours bien avant le point de fusion, d'une manière généralement discontinue : tous ces corps deviennent paramagnétiques. Cette température de transition ordre-désordre est appelée température de Curie dans les ferrimagnétiques, point de NÉEL dans les antiferromagnétiques.

Pour la magnétite, la température de Curie est de  $578^\circ\text{C}$  et l'aimantation à saturation à  $20^\circ\text{C}$  de 93 u.e.m. C.G.S. Ce sont les deux propriétés fondamentales de cette espèce du point de vue magnétique.

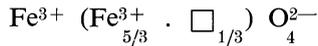
La valeur du paramètre de la maille cristalline est de  $8,396 \pm 0,0005 \text{ \AA}$  (BASTA) pour une magnétite naturelle et de  $8,394 \pm 0,0005 \text{ \AA}$  (TOMBS et ROOKSBY) pour une magnétite synthétique.

Sa densité est 5,20.

Dans les roches, la magnétite pure est rare ; plus généralement, on rencontre des magnétites substituées, des ions  $\text{Fe}^{2+}$  pouvant être remplacés par des ions  $\text{Mg}^{2+}$  et les ions  $\text{Fe}^{3+}$  par  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Cr}^{3+}$ . D'une manière générale, le remplacement dans le réseau de la magnétite des ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  par des ions étrangers entraîne un point de Curie plus bas que celui de la magnétite pure. De même l'aimantation à saturation et le paramètre de la maille varient.

L'ULVÖSPINELLE  $\text{Fe}_2^{2+} \text{Ti} \text{O}_4$ . C'est un spinelle inverse analogue à la magnétite avec  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Ti}^{4+}$  remplaçant 2  $\text{Fe}^{3+}$ . On n'a pas observé jusqu'ici des cristaux isolés de cette phase dans les roches mais on l'observe en exsolutions dans la magnétite visibles seulement au microscope aux forts grossissements (de l'ordre de 600). La synthèse a été réalisée par BARTH et POSNJAK en 1932 et ensuite par plusieurs chercheurs. Le paramètre de la maille varie suivant les auteurs, la valeur la plus probable étant de 8,53 Å. Elle est paramagnétique à 20° C et devient antiferromagnétique aux basses températures, le point de NÉEL serait de l'ordre de —150° C.

LA MAGHÉMITE  $\gamma \text{Fe}_2 \text{O}_3$ . Comme la magnétite, elle a une structure de spinelle inverse. Le réseau des ions  $\text{O}^{2-}$  est identique à celui des autres spinelles, ce qui nous conduit à écrire sa formule en mettant  $\text{O}_4$  en évidence, soit :  $\text{Fe}_{8/3} \text{O}_4$  avec la structure (en spécifiant les sites A et B)



le symbole  $\square$  indiquant une place vide. Le réseau est donc lacunaire, les sites vacants étant préférentiellement localisés dans les sites octaédriques d'après des études aux rayons X de VERWEY (1935) et confirmées récemment par une analyse aux neutrons de FERGUSON et HASS (1958). La maghémite est métastable et se transforme irréversiblement en hématite lorsqu'on la chauffe. Cette température d'inversion est variable suivant les auteurs et semble dépendre de l'histoire antérieure de l'échantillon. Pour FORRER, CHAUDRON et MICHEL, elle serait de 275° C ; pour BOZORTH, entre 400 et 800° C. On conçoit par suite qu'il soit difficile de définir les propriétés thermo-magnétiques de cette phase. MICHEL et CHAUDRON donnent un point de Curie de 675° C en extrapolant les valeurs obtenues pour des solutions solides stabilisées par la présence d'ions Na. BROWN (1963) donne 747° C. L'aimantation à saturation à 20° C serait de 76 u.e.m. C.G.S. pour QUIVY et FORRER et de 83 u.e.m. C.G.S. pour CHEVALLIER.

Le paramètre de la maille varie de 8,300 Å à 8,350 Å selon les auteurs. La magnétite et la maghémite ayant la même structure, on peut prévoir l'existence de solutions solides entre  $\text{Fe}_3 \text{O}_4$  et  $\gamma \text{Fe}_2 \text{O}_3$ . HÄGG a montré qu'une oxydation continue de  $\text{Fe}_3 \text{O}_4$  en  $\gamma \text{Fe}_2 \text{O}_3$

montre une diminution continue du paramètre de la maille et de la densité, la densité de la maghémite étant de 4,88. Comme nous le voyons, nos connaissances sur les propriétés magnétiques de cette phase d'oxydation de la magnétite sont encore très imprécises.

LES TITANOMAGNÉTITES. — La magnétite et l'ulvöspinelle ayant une structure de spinelle peuvent former une série complète de solutions solides à haute température. Effectivement, cette série a été obtenue

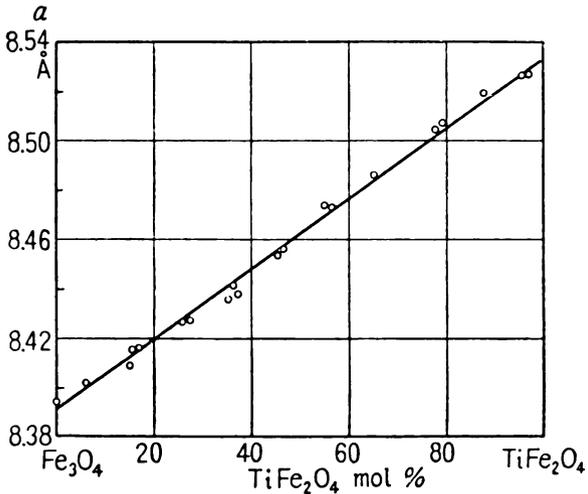


FIG. 3

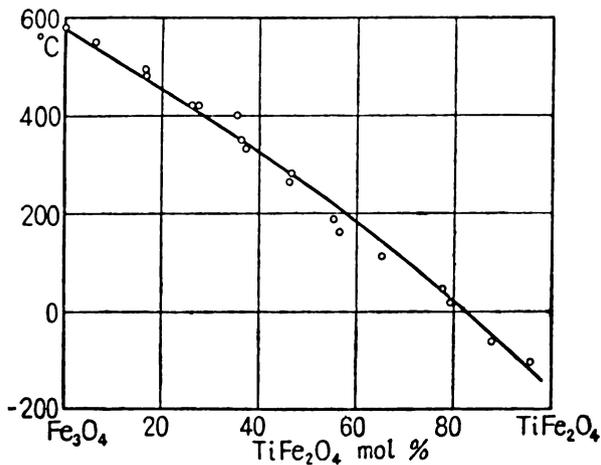
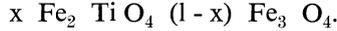


FIG. 4

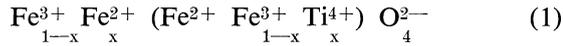
synthétiquement successivement par BARTH et POSNJAK (1932), POUILLARD (1950), AKIMOTO, KATSURA et YOSHIDA (1957), LINDSLEY (1962). Nous pouvons écrire sa constitution sous la forme



Les variations du paramètre de la maille et du point de Curie en fonction du pourcentage en molécules de  $\text{Fe}_2 \text{ Ti O}_4$  sont données sur les figures 3. et 4.

Nous voyons que les dimensions de la maille augmentent linéairement en fonction du pourcentage en molécules de  $\text{Fe}_2 \text{ Ti O}_4$  depuis 8,39 Å (magnétite) jusqu'à 8,53 Å (ulvöspinelle). Le point de Curie décroît d'une manière continue depuis 578° C (magnétite) jusqu'à -150° C (ulvöspinelle). Etant donné l'importance des titanomagnétites dans l'étude du magnétisme des roches, différentes hypothèses sur la répartition des cations dans les sites A et B de la maille ont été proposées.

L'une est basée sur la configuration suivante (AKIMOTO, 1957).



où les cations dans la parenthèse indiquent, comme nous l'avons déjà précisé, les sites octaédriques. En calculant l'aimantation à saturation en magnétons de Bohr on obtient la courbe théorique A de la Figure 5.

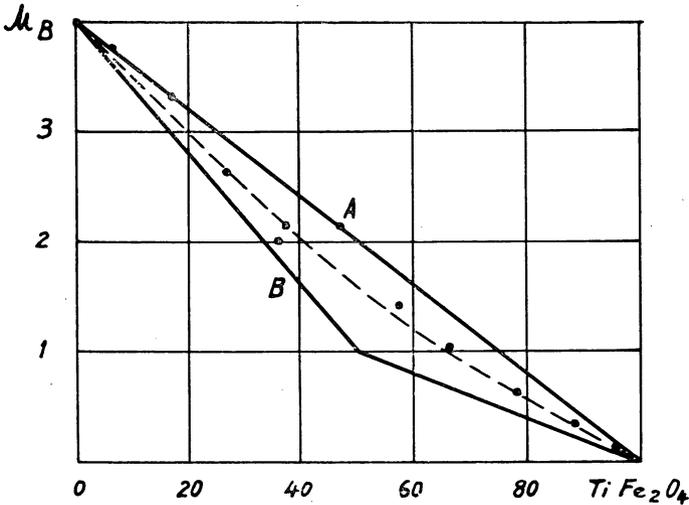
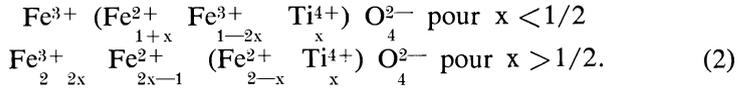


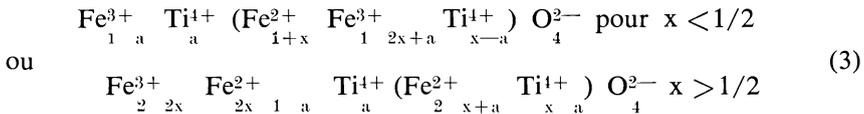
FIG. 5

L'autre est basée sur la configuration suivante en tenant compte des lois semi-empiriques de VERWEY (CHEVALLIER et BOLFA 1955, NÉEL 1955) :



En calculant l'aimantation à saturation en magnétons de Bohr, on obtient la courbe théorique B de la Figure 5 présentant un changement de pente pour  $x = 1/2$ .

Les valeurs des aimantations à saturation des séries synthétiques se placent entre ces deux courbes. NICHOLLS (1955) et GORTER (1957) proposent une distribution où une certaine proportion des ions titane sont dans les sites tétraédriques :



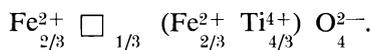
(courbe en pointillé de la figure 5).

Aux basses températures, le domaine des solutions solides est plus limité ; des exsolutions de composition intermédiaire apparaissent (KAWAI).

LES TITANOMAGNÉTITES GÉNÉRALISÉES. — La composition chimique des titanomagnétites homogènes extraites des roches n'est pas toujours en accord avec la droite idéale des titanomagnétites synthétiques  $[x \text{Fe}_2 \text{TiO}_4 (1-x) \text{Fe}_3 \text{O}_4]$  du diagramme ternaire des compositions moléculaires  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ . Dans la majorité des cas, elle est comprise entre cette droite et la droite  $\text{FeTiO}_3 - \text{Fe}_2 \text{O}_3$ . Dans le but de préciser les propriétés structurales et magnétiques de ces titanomagnétites « anormales », des essais de synthèse ont été entrepris.

En 1950, CHEVALLIER et GIRARD ont obtenu des solutions solides cubiques entre  $\text{Fe}_3 \text{O}_4$  et  $\text{FeTiO}_3$  en utilisant le borax anhydre comme fondant.

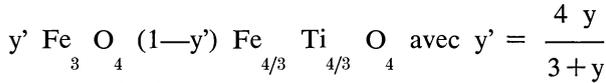
En 1955, CHEVALLIER, BOLFA et MATHIEU ont interprété leur structure de la manière suivante. Nous pouvons concevoir pour  $\text{FeTiO}_3$  cristallisé en spinelle la formule structurale



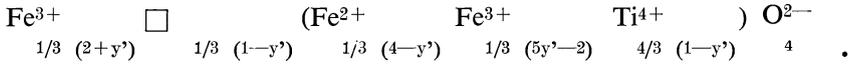
Nous formons maintenant les solutions solides en écrivant au lieu de

$$y \text{Fe}_3 \text{O}_4 (1-y) \text{FeTiO}_3$$

la formule sous la forme



pour la même constitution, ce qui nous donne, compte tenu des règles de VERWEY :



Cette formule structurale interprète bien les propriétés magnétiques des échantillons réalisés par CHEVALLIER et GIRARD, qui correspondent à  $0,7 < y' < 1$ . Ces titanomagnétites « anormales » se caractérisent donc par rapport aux titanomagnétites « normales » de compositions  $x \text{ Fe}_2 \text{ Ti O}_4 - (1-x) \text{ Fe}_3 \text{ O}_4$  par des cations vacants dans le réseau d'oxygène de structure spinelle.

En 1959, AKIMOTO, KATSURA et YOSHIDA ont réussi à étendre la région de ces spinelles à sites vacants dans une large surface du quadrilatère  $\text{Fe}_2 \text{ Ti O}_4 - \text{Fe}_3 \text{ O}_4 - \text{Fe}_2 \text{ O}_3 - \text{Fe Ti O}_3$  en réalisant des expériences d'oxydation sur les solutions solides  $[x \text{ Fe}_2 \text{ Ti O}_4 (1-x) \text{ Fe}_3 \text{ O}_4]$  à des températures variées au-dessous de  $550^\circ \text{C}$  dans l'air. Ces auteurs ont rapporté sur le diagramme ternaire  $\text{Fe O}, \text{Fe}_2 \text{ O}_3, \text{Ti O}_2$  les courbes suivant lesquelles la dimension de la maille, le point de Curie et l'aimantation à saturation conservent la même valeur (NAGATA, 1961 - *Rock Magnetism*, p. 88, 89 et 90).

Les courbes de point de Curie constant et de paramètre constant ont la même allure, tandis que celle d'aimantation à saturation constante à la température ordinaire en diffère.

Un très grand nombre de titanomagnétites extraites des roches se placent avec une bonne concordance sur les diagrammes établis par AKIMOTO, KATSURA et YOSHIDA. Elles résultent donc de l'oxydation des titanomagnétites normales. La composition chimique des titanomagnétites séparées thermomagnétiquement d'une même roche se place sur des droites d'oxydo-réduction (1) (NAGATA, 1961 - *Rock magnetism*, p. 79).

### B) Les phases à structure rhomboédrique.

Ces phases sont : l'hématite  $\alpha \text{ Fe}_2 \text{ O}_3$ , l'ilménite  $\text{Fe Ti O}_3$  et les ferri-ilménites.

L'HÉMATITE  $\alpha \text{ Fe}_2^{3+} \text{ O}_3$ . Cette espèce est rhomboédrique, les paramètres de la maille rhomboédrique étant  $a_{\text{rh}} = 5,0345 \text{ \AA}$ ,  $\alpha_{\text{rh}} = 55^\circ 15'$ , ceux de la maille hexagonale  $a_{\text{h}} = 5,1345 \text{ \AA}$ ,  $c_{\text{h}} = 13,749 \text{ \AA}$ .

(1) Les droites d'oxydo-réduction sont celles pour lesquelles le rapport Fe/Ti est constant et où seul le rapport  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  varie (AKIMOTO et KATSURA, 1959).

Dans la structure, les oxygènes forment un réseau hexagonal compact légèrement déformé et les ions  $\text{Fe}^{3+}$  occupent dans ce réseau les  $2/3$  des sites octaédriques. Normalement à l'axe ternaire le réseau est constitué par des couches d'ions oxygène et des couches d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  en coordinance 6 (c'est-à-dire entourés par 6 oxygènes).

Les propriétés magnétiques de l'hématite ne sont pas encore bien établies et font par suite l'objet de nombreuses discussions. Pour certains auteurs, elle est considérée comme un ferromagnétique dont le point de Curie est de  $675^\circ \text{C}$ , l'aimantation à saturation de 0,5 u.e.m. C.G.S. et le champ coercitif de 7600 gauss. CHEVALLIER (1951) attribue ses propriétés magnétiques essentielles à la superposition d'un paramagnétisme de base (1) et d'un ferromagnétisme d'intensité variable disparaissant à  $675^\circ \text{C}$ .

Des monocristaux de l'ordre du millimètre sont paramagnétiques suivant l'axe ternaire, mais ferromagnétiques et isotropes dans le plan normal à cet axe. Des expériences de broyage montrent que le ferromagnétisme ne devient sensible que si les grains sont suffisamment grands. CHEVALLIER considère que des cristaux de l'ordre du micron sont paramagnétiques. Cet exemple nous montre l'influence de la dimension des cristaux dans les propriétés magnétiques. D'autres auteurs pensent que l'hématite est antiferromagnétique. C'est ainsi que NÉEL (1953) suggère que les propriétés magnétiques de l'hématite résultent de la présence d'un antiferromagnétisme fondamental (les moments magnétiques des ions  $\text{Fe}^{3+}$  dans un plan donné sont tous parallèles, mais antiparallèles par rapport aux moments des ions  $\text{Fe}^{3+}$  du plan voisin) superposé à un faible ferromagnétisme parasite. L'interprétation la plus simple du faible ferromagnétisme parasite consiste à supposer que l'antiferromagnétisme n'est pas parfait, les deux sous-réseaux magnétiques n'étant pas tout à fait identiques.

La densité de l'hématite est de 5,256.

Les ions  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  peuvent remplacer des ions  $\text{Fe}^{3+}$  dans l'hématite ; ceci entraîne une diminution appréciable du point de Curie.

L'ILMÉNITE  $\text{Fe}^{2+} \text{Ti}^{4+} \text{O}_3$ . — Elle est également rhomboédrique, les paramètres de la maille rhomboédrique étant  $a_{rh} = 5,523 \text{ \AA}$ ,  $\alpha_{rh} = 54^\circ 51'$ , ceux de la maille hexagonale  $a_h = 5,079 \text{ \AA}$ ,  $c_h = 14,135 \text{ \AA}$ .

---

(1) Le paramagnétisme de base varie avec la température suivant la loi de ENDO  $\chi(T+3727) = 0,085$ , la susceptibilité à  $20^\circ \text{C}$  étant  $\chi = 20 \cdot 10^{-6}$  u.e.m.

La structure est très voisine de celle de l'hématite. Le réseau des oxygènes est pratiquement le même et, normalement à l'axe ternaire, les couches d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  alternent avec les couches d'ions  $\text{Ti}^{4+}$ .

Des mesures de susceptibilité ont montré que l'ilménite est paramagnétique au-dessus de la température de l'azote liquide, antiferromagnétique au-dessous. La susceptibilité magnétique à  $20^\circ \text{C}$  est de  $94.10^{-6}$  u.e.m.

Sa densité est 4,79.

LES FERRI-ILMÉNITES. — L'hématite et l'ilménite ayant la même structure peuvent former une série complète de solutions solides à des températures supérieures à  $1000^\circ \text{C}$ . Cette série a été obtenue synthétiquement par POUILLARD, ISHIKAWA et AKIMOTO, REITHLER et BOLFA. Le domaine d'existence de ces solutions solides est limité aux plus basses températures.

Du point de vue des propriétés magnétiques, la série de ces solutions solides que nous pouvons écrire sous la forme  $z \text{Fe Ti O}_3$   $(1-z) \text{Fe}_2 \text{O}_3$  peut être classée suivant sa composition en deux parties :

- 1) Pour  $0,5 < z < 1$  les phases sont ferrimagnétiques
- 2) Pour  $0 < z < 0,50$  les phases sont antiferromagnétiques mais il se superpose un ferromagnétisme parasite comme nous l'avons vu pour l'hématite.

Pour  $0,50 < z < 1$ , l'état est ordonné et les ions titane occupent sélectivement l'une des deux couches de cations normales à l'axe ternaire.

Pour  $0 < z < 0,50$ , l'état est désordonné et les ions titane et fer occupent toutes les couches également. Les échantillons qui montrent un caractère ferrimagnétique à la température ambiante et qui par suite contribuent directement au magnétisme des roches au même titre que les titanomagnétites sont limités à une composition  $0,5 < z < 0,8$ . La valeur maxima de l'aimantation à saturation à  $20^\circ \text{C}$  est de 16 u.e.m. C.G.S. pour  $z = 0,75$  ; de part et d'autre de cette constitution, elle décroît rapidement.

#### IV. - Importance de la connaissance de la nature minéralogique des minéraux magnétiques pour l'interprétation des propriétés magnétiques des roches.

Pour montrer l'importance de la connaissance de la nature minéralogique exacte des oxydes de fer et de titane pour l'interprétation des propriétés magnétiques des roches, nous prendrons deux exemples : les

propriétés thermomagnétiques de certaines roches volcaniques et l'interprétation des inversions du champ.

A) *Analyse thermomagnétique de certaines roches volcaniques.*

Nous avons étudié au laboratoire les propriétés thermomagnétiques d'échantillons de laves basaltiques prélevés dans des coulées du Massif Central [région de Monistrol d'Allier (Haute-Loire)] BABKINE et BOLFA (1961) et des laves andésitiques prélevées dans des coulées historiques de l'Etna (Sicile) ZELLER et BOLFA (1964). A cet effet, nous avons enregistré la variation du moment magnétique de chaque échantillon en fonction de la température dans un champ de quelques centaines de gauss. Les échantillons ont été prélevés au centre, à la base et dans les parties superficielles de la coulée. Pour la coulée de 1381 ap. J.C. de l'Etna par exemple, l'échantillon provenant du centre a donné la courbe thermomagnétique n° 1 de la Figure 6.

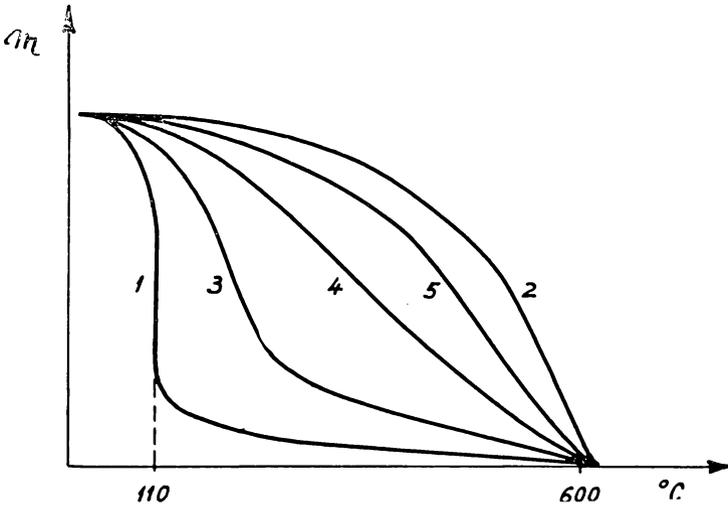


FIG. 6

Cette courbe présente une discontinuité assez nette pour une température de l'ordre de 110° C et l'examen optique en lumière réfléchie des éléments opaques de l'échantillon indique une phase homogène isotrope et par suite cubique (type spinelle). L'échantillon provenant de la partie supérieure de la coulée a donné la courbe n° 2, c'est-à-dire une courbe se rapprochant de celle de la magnétite sans qu'il soit possible de définir un point de Curie comme pour la courbe n° 1 ; l'examen optique en lumière réfléchie montre que les éléments opaques sont hétérogènes

et présentent une martitisation épitaxique caractéristique. Les échantillons prélevés entre le centre de la coulée et la partie superficielle donnent successivement les courbes 3, 4, 5, et l'examen optique montre que les éléments opaques des échantillons correspondants présentent une martitisation de plus en plus poussée de 3 à 5. L'ensemble des courbes thermomagnétiques forme un réseau régulier sans empîement d'une courbe quelconque sur sa voisine (1). On voit qu'une courbe quelconque dérive de la précédente par amplification des températures à aimantation constante. La déformation est progressive comme si le stade correspondant à une courbe donnée impliquait le passage par le stade des courbes antérieures. Ce faisceau de courbes se retrouve dans toutes les coulées étudiées, mais la température de Curie donnée par la courbe à discontinuité franche (courbe 1 de la Figure 6) change avec la nature de la roche de la coulée étudiée. Ainsi pour les coulées basaltiques de la région de Monistrol-sur-Allier, la courbe à discontinuité franche donne un point de Curie de l'ordre de 50° C au lieu de 110° C pour les coulées andésitiques de l'Etna.

La connaissance des propriétés physico-chimiques des oxydes de fer et de titane nous permet d'identifier la nature minéralogique exacte de l'élément responsable du ferrimagnétisme de la roche qui a donné la courbe n° 1 de la Figure 6. Pour la courbe de 1381 de l'Etna, cette phase est une titanomagnétite généralisée qui résulterait d'un début d'oxydation d'une titanomagnétite de composition  $0,80 \text{ Fe}_2 \text{ TiO}_4 \cdot 0,20 \text{ Fe}_3 \text{ O}_4$ . Quand nous passons de l'andésite de l'Etna aux basaltes de la région de Monistrol, la teneur en  $\text{Fe}_2 \text{ TiO}_4$  de la titanomagnétite est analogue mais cette phase n'est pas oxydée ; de plus, elle contient un peu d'aluminium et de magnésium.

Les échantillons donnant les autres courbes du faisceau sont des mélanges de phases : hématite et titanomagnétites généralisées.

Pour les coulées historiques de l'Etna étudiées jusqu'ici, en particulier celles de 693 av. J.C. et de 1381 ap. J.C., nous avons constaté que pour les échantillons donnant la courbe à discontinuité franche, le point de Curie était le même, ce qui prouve que la titanomagnétite originelle responsable du ferrimagnétisme de la roche a le même chimisme. Ceci pourrait expliquer les résultats des mesures d'intensité d'aimantation établis par CHEVALLIER en 1925 que nous avons mentionnés au début de cet exposé ; nous rappelons qu'il constata que l'intensité d'aimantation, variable dans les régions superficielles, tend vers une

---

(1) Les différentes courbes thermomagnétiques sont réduites à la même ordonnée à l'origine.

limite inférieure dans les régions centrales et sensiblement fixe (0,008 C.G.S.) pour toutes les coulées historiques de l'Etna.

Des expériences d'oxydation à différentes températures ont été réalisées au laboratoire [BABKINE et BOLFA (1963)] à partir d'échantillons ayant donné la courbe basse. Le faisceau de courbes thermomagnétiques a été reproduit. Ces résultats montrent que le degré d'oxydation des titanomagnétites d'une coulée est variable suivant le point de prélèvement de l'échantillon. D'autre part, l'analyse du faisceau de courbes permet de déterminer l'échantillon qui contient la titanomagnétite originelle.

### B) *Inversion du champ magnétique terrestre.*

Nous avons vu qu'en différents points du globe, on trouve des roches dont l'aimantation rémanente naturelle est en sens inverse du champ magnétique terrestre actuel. Si pour une unité volcanique donnée cette aimantation est approximativement uniforme en direction et intensité, on peut admettre qu'il s'agit d'une aimantation thermorémanente acquise à l'époque du refroidissement de la roche dans le champ magnétique terrestre et qui a d'ailleurs pu ultérieurement être plus ou moins modifiée par altération chimique des éléments de la roche. L'interprétation de l'inversion a beaucoup retenu l'attention des géomagnéticiens depuis quelques années. L'hypothèse d'abord envisagée est qu'à l'époque du refroidissement de la roche le champ magnétique terrestre était dirigé en sens inverse du champ actuel. Pour NEEL, certaines inversions seraient dues aux constituants ferrimagnétiques des roches ; voici ses hypothèses explicatives possibles.

PREMIÈRE HYPOTHÈSE. — Nous avons vu que dans les substances à structure type spinelle, les ions magnétiques sont situés sur deux sous-réseaux A (sites tétraédriques) et B (sites octaédriques) possédant des aimantations spontanées dirigées en sens inverse l'une de l'autre. Pour des répartitions convenables des ions sur ces deux sous-réseaux, la variation thermique de l'aimantation spontanée totale résultante, en partant du 0 absolu, décroît, s'annule, devient négative, passe par un minimum et croît ensuite pour s'annuler définitivement au point de Curie. Comme l'a montré NEEL, ce phénomène est dû à des différences dans les variations thermiques des aimantations spontanées partielles des deux sous-réseaux. Une telle substance possède donc à froid une aimantation permanente dirigée en sens inverse du champ magnétique qui lui a donné naissance à chaud. Les constituants ferrimagnétiques étant des spinelles, cette inversion d'aimantation est en principe possible.

DEUXIÈME HYPOTHÈSE. — L'aimantation permanente d'un ferrimagnétique peut aussi s'inverser par un mécanisme de substitution.

Considérons l'exemple de la magnétite ; par molécule  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , elle contient un ion  $\text{Fe}^{3+}$  sur le sous-réseau A et deux ions, un  $\text{Fe}^{3+}$  et un  $\text{Fe}^{2+}$  sur le sous-réseau B. L'aimantation spontanée partielle du sous-réseau B est donc supérieure en valeur absolue à celle du sous-réseau A : en conséquence, l'aimantation spontanée résultante est dirigée dans le sens de l'aimantation du sous-réseau B. Supposons maintenant qu'au-dessous de la température d'acquisition de l'aimantation permanente il se produise certaines modifications chimiques, éventuellement très lentes de la substance, par exemple substitution d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  très magnétiques situés sur le sous-réseau B par des ions peu magnétiques ou amagnétiques comme  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  de manière à rendre l'aimantation spontanée du sous-réseau B inférieure en valeur absolue à celle du sous-réseau A. Il en résultera une inversion spontanée de l'aimantation permanente acquise à chaud.

TROISIÈME HYPOTHÈSE. — Comme nous venons de le voir, les mécanismes d'inversion liés au ferrimagnétisme sont purement atomiques mais on peut se demander si l'inversion ne pourrait pas également provenir du mécanisme même de l'aimantation permanente. Pour résoudre cette question, il convient de reprendre la théorie de l'aimantation à chaud, ou selon la terminologie de THELLIER aimantation thermorémanente des roches. Nous considérons ces roches comme formées de grains ferrimagnétiques très fins dispersés dans un milieu non magnétique. Lorsque la roche ne contient qu'un seul constituant ferrimagnétique, la théorie n'apporte aucun fait nouveau. Il n'en est plus de même lorsque la roche contient un mélange de deux constituants ferrimagnétiques possédant des points de Curie assez différents. L. NEEL a montré alors que, dans des conditions convenables, l'aimantation thermorémanente peut être dirigée en sens inverse du champ magnétique qui lui a donné naissance.

L'association de deux éléments ferrimagnétiques a été effectivement constatée dans une lave dacitique des monts Haruna au Japon par NAGATA et AKIMOTO. Ces deux éléments sont un spinelle ferrimagnétique de point de Curie  $500^\circ\text{C}$  (T) et une ferri-ilménite ferrimagnétique de point de Curie voisin de  $230^\circ\text{C}$  (F). Certains grains de la roche sont constitués par les éléments T et F. L'examen de l'aimantation thermorémanente de grains constitués par un seul élément T ou F indique que chaque grain du constituant T a une aimantation thermorémanente normale ; il en est de même pour chaque grain du constituant F. Mais les grains TF présentent une forte aimantation thermorémanente inverse. Si la somme de ces aimantations inverses de ces grains TF est supérieure à celle de l'aimantation normale des grains T et des grains F, la roche présente l'aimantation thermorémanente inverse. Effectivement, les

formations d'Haruna présentent des aimantations thermorémanentes inverses.

**V. - Relation entre la nature du constituant ferrimagnétique et le type de la roche.**

Les recherches dans ce domaine n'en sont qu'à leur début. Seules les roches volcaniques ont été étudiées avec quelque détail. Le constituant essentiel est la titanomagnétite et sa teneur en  $\text{Fe}_2 \text{Ti O}_4$  est d'autant plus élevée que la roche est plus basique. On sait que l'on classe les roches en trois groupes basés sur la composition chimique :

1) un type acide dont la teneur en  $\text{Si O}_2$  est supérieure à 65 % comprenant les rhyolites, dacites...,

1) un type intermédiaire dont la teneur en  $\text{Si O}_2$  est comprise entre 52 et 65 %, diorites et andésites...,

3) un type basique dont la teneur en  $\text{Si O}_2$  est inférieure à 52 %, phonolites, téphrites, basaltes, etc...

Dans les rhyolites par exemple, le spinelle est pratiquement la magnétite pure. Dans les basaltes, on a des titanomagnétites dont la teneur en  $\text{Fe}_2 \text{Ti O}_4$  peut aller jusqu'à 80 %. Les ferri-ilménites sont rares dans les roches volcaniques, mais l'on peut trouver des exolutions d'ilménite dans les titanomagnétites. Nous avons vu que les dacites peuvent renfermer des ferri-ilménites ferrimagnétiques (Monts Haruna, Japon).

Dans les roches métamorphiques étudiées jusqu'ici à ce point de vue : gneiss des Adirondacks U.S.A. (BUDDINGTON), charnockites de Madagascar (BOLFA, KERN, DE LA ROCHE), le constituant essentiel est une ferri-ilménite mais dont la teneur en  $\text{Fe Ti O}_3$  est très élevée. Pour les charnockites, l'ilménite est pratiquement pure. Pour les roches cristallines type granite, la présence de magnétite et d'ilménite est signalée mais sans précision sur la constitution exacte. De plus, la teneur en ces constituants est négligeable et par suite l'aimantation permanente est faible.

Dans les ferro gabbros du Skaergaard, VINCENT (1954) a trouvé des titanomagnétites de constitution voisine de la magnétite, de l'ilménite et des exolutions d'ulvöspinelle et d'ilménite dans les titanomagnétites.

Dans les roches sédimentaires et particulièrement les grès, le constituant responsable du magnétisme de la roche est pratiquement l'hématite.

## VI. - Essai de classification des roches d'après les propriétés magnétiques.

Cet essai a été tenté récemment par F.N. EFIMOV (1961). Les principaux paramètres utilisés par cet auteur sont  $M = \frac{\chi}{F_c}$  et  $N = \frac{\chi_h}{\chi}$  ;  $\chi$  est la susceptibilité magnétique de la roche pulvérisée,  $F_c$  le pourcentage en poids de la fraction magnétique,  $\chi_h$  la susceptibilité de la fraction non magnétique. La séparation est faite par voie humide dans un champ constant (de l'ordre de 900 gauss) et la granulométrie est toujours la même.

EFIMOV constate que le paramètre M est surtout lié à la composition, à la concentration et aux propriétés des éléments ferromagnétiques. Comme nous l'avons vu, ces grandeurs varient avec le type de la roche et par suite M peut être utilisé comme critère de classification génétique. Le paramètre N est surtout lié à la granulométrie et aux transformations secondaires et peut être utilisé comme critère de détermination du caractère et du degré de métamorphisme. L'analyse magnéto-minéralogique fractionnée d'EFIMOV montre que les minéraux ferromagnétiques reflètent les particularités de genèse et de transformation des roches. Ainsi chaque type de roche possédera deux paramètres M et N spécifiques.

## VII. - Conclusion.

Dans cet exposé, nous avons essayé de présenter le plus objectivement possible les différents aspects du magnétisme des roches. En fait, on en est encore à la phase d'exploration des possibilités du paléomagnétisme. Selon l'expression de E. THELLIER, on est passé de la période d'enthousiasme du début à une phase d'inquiétude où l'ensemble des résultats obtenus est mis en cause. On s'efforce de fouiller davantage les mécanismes d'acquisition de l'aimantation et dans ce domaine la coutume semble se répandre de faire un examen critique de la nature des aimantations observées avant d'interpréter les directions trouvées. Comme nous l'avons vu, les vedettes actuelles du paléomagnétisme sont l'inversion du sens du champ terrestre, la dérive des pôles terrestres et la dérive des continents ; elles ne font intervenir que la direction du champ.

Par contre, grâce aux travaux des physiciens du magnétisme et tout particulièrement des études théoriques de L. NEEL, notre connaissance de la structure des minéraux responsables du magnétisme des roches est déjà satisfaisante. Elle permet d'interpréter un grand nombre de faits, certains restant encore obscurs.

Il faut espérer qu'il sera possible d'arriver d'une part à élaborer une classification des roches à partir des minéraux magnétiques et d'autre part à relier la nature minéralogique exacte de ces minéraux à l'aimantation rémanente des roches.

*Laboratoire de Minéralogie et Cristallographie*  
Faculté des Sciences de l'Université de Nancy

#### BIBLIOGRAPHIE

- AKIMOTO (S.), KATSURA (T.) et YOSHIDA (M.). — *J. Geom., Geoelect., Kyoto* (1957), 9, 165.
- AKIMOTO (S.) et KATSURA (T.). — *J. Geom., Geoelect., Kyoto* (1959), 10, 69.
- BABKINE (J.) et BOLFA (J.). — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1961), 252, 1979.
- BABKINE (J.) et BOLFA (J.). — *C.R. Ac. Sc.* (1963), 256, 5164.
- BARTH (T.) et POSNJAK (E.). — *Zeits, Krist* (1932), 82, 325.
- BOZORTH (M.). — « *Ferromagnetism* », Van Nostrand (1951), New York.
- BROWN (W.F.). — *Jour. of Applied Phys.* (1962), 33, 9, 2752.
- BRUN (A.). — *Arch. Sc. Phys. et Nat.* (1924), 5, 6, 244.
- BRUNHES (B.). — *C.R. Ac. Sc., Paris* (1901), 133, 155.
- BRUNHES (B.) et DAVID (P.). — *C.R. Ac. Sc., Paris* (1903), 137, 975.
- CHAUDRON (G.) et MICHEL (A.). — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1938), 208, 90.
- CHEVALLIER (R.). — *Ann. Phys.* (1925), série 10, 4, 5.
- CHEVALLIER (R.) et PIERRE (J.). — *Ann. Phys.* (1932), 10, 18, 383.
- CHEVALLIER (R.) et GIRARD (J.). — *Bull. Soc. Chim. Franç.* (1950) 5, 576.
- CHEVALLIER (R.). — *J. Phys. Radium* (1951), 12, 172.
- CHEVALLIER (R.), BOLFA (J.) et MATHIEU (S.). — *Bull. Soc. Franç. Min. et Crist.* (1955), 78, 307.
- CHEVALLIER (R.). — *Encyclopaedie, Dictionary of Physics*, C 21, Oxford, London, New York, Paris.
- DAVID (P.). — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1904), 138, 4.
- EFIMOV (F.N.). — *Izvest, Akad. Nauk., S.S.S.R.* (1961), série Géologique, 9, 24.
- FERGUSON (G.A.) et HASS (M.). — *Phys. Rev.* (1958), 112, 1130.
- FOLGHERAITER. — *R. Acc. Lincei* (1894), 5<sup>e</sup> série, 53 et 117.
- FOLGHERAITER. — *R. Acc. Lincei* (1894), 5<sup>e</sup> série, 165.
- FOLGHERAITER. — *R. Acc. Lincei* (1895), 5<sup>e</sup> série, 203.
- GRENET (G.). — *Ann. de Phys.* (1930), 12, 263.
- GORTER (E.W.). — *Adv. Phys.* (1957), 6, 336.

- HÄGG (G.). — *Zeits. Phys. Chemie* (1935), 29, 95.
- HUMBOLDT. — *Grens Neues Jour. der Physik* (1797), 4, 136.
- JACQUET. — Contribution à l'étude du magnétisme des roches volcaniques du département du Puy-de-Dôme.  
*Thèse Paris* (1929).
- KÖNIGSBERGER (J.G.). — *Beitr. Angew. Geophys.* (1932), 4, 385.
- KÖNIGSBERGER (J.G.). — *Gerl. Beitr. Geophys.* (1932), 35, 264.
- LINDSLEY (D.H.). — *Carnegie Inst. Wash. Yearb* (1962), 61, 100.
- MARION (F.). — *Documentation Métallurgique* (1955), 87, 136.
- MELLONI. — *R. Acc. Sc. di Napoli* (1853), 1, 121 et 141.
- MELLONI. — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1853), 37, 229.
- MELLONI. — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1853), 37, 966.
- NAGATA. — *Nature* (1951), 169, 704.
- NAGATA (T.), AKIMOTO (S.) et UYEDA (S.). — *J. Geom. Geol. Kyoto* (1953), 5, 168.
- NEEL (L.). — *Ann. Géoph.* (1951), 7, 90.
- NEEL (L.). — *C.R. Ac. Sc. Paris* (1952), 234, 1991.
- NICHOLLS (G.D.). — *Adv. Phys.* (1955), 4, 113.
- OSIPOV (M.A.). — *Dok. Akad. Nauk., S.S.S.R.* (1962), 146, 6, 1404.
- POUILLARD (E.). — *Ann. Chimie* (1950), 5, 164.
- QUIVY. — Contribution à l'étude de quelques propriétés magnétiques du sesquioxide de fer.  
*Thèse Paris*, 1961.
- REITHLER (J.C.) et BOLFA (J.). — *Bull. Soc. Franç. Min. et Crist.* (1963), 86, 68.
- ROCHE (A.). — *Revue Sc. Nat. d'Auvergne* (1959), 25, 144.
- ROCHE (A.). — *Revue Ind. Min.* (1959), 41, 7.
- SHULL (C.G.), STRAUSSER (W.A.) et WOLLAN (E.O.). — *Phys. Revue* (1951), 83, 333.
- THELLIER (E.). — *Ann. Inst. Phys. du Globe* (1938), 16, 157.
- THELLIER (E.) et THELLIER (O.). — *Ann. Geophys.* (1959), 15, 285.
- VINCENT (E.A.). — *N. Jb. Min. Abh.* (1960), 94, 993.
- VINCENT (E.A.). — *Geoch. et Cosmoch. Acta* (1954) 6, 1. Pergamon Press, Ltd, London.
- WEISS (P.) et FORRER (R.). — *Ann. Phys.* (1929), 12, 279.
- ZELLER (C.) et BOLFA (J.). — *Bull. Soc. Franç. Min. et Crist.* (1964), 87, 411.

Une bibliographie très complète existe dans l'ouvrage :  
*Rock Magnetism*, de T. NAGATA.

Maruzen Company Ltd, Tokyo, Japon (1961).

et dans le mémoire de E. THELLIER et O. THELLIER (1959), *Ann. de Geoph.*, 15, 285.

---

## MORPHOGENESE ET SEXUALITE CHEZ LES PINACEES \*

par

E. F. DEBAZAC

---

Les problèmes de biologie des arbres sont méconnus. Les arbres ne sont pas en effet choisis volontiers comme matériel d'étude par les chercheurs. Les raisons de ce délaissement sont faciles à comprendre : la première est très certainement la longueur du cycle vital. Alors que beaucoup de plantes herbacées effectuent un développement complet, depuis la germination de la graine jusqu'à la fructification, en une seule saison de végétation, ce même développement demande plusieurs années et souvent plusieurs dizaines d'années chez les espèces ligneuses de grande taille.

On comprend que le matériel herbacé soit plus tentant que des essences forestières, lorsqu'on sait que la plantule d'un an de Sapin pectiné n'a qu'une pousse épicotylédonnaire de quelques millimètres seulement, qu'un jeune plant de cette même espèce doit avoir quatre ans pour être suffisamment fort pour être mis en place et qu'il faut attendre environ 25 ans pour observer les premières fructifications. Mais, outre la longueur du développement, un autre obstacle sérieux est la dimension même des arbres. Les espèces de petite taille peuvent être élevées en pots, conservées constamment sous l'œil de l'observateur, maintenues dans des serres et des chambres climatisées où peuvent être appliquées toutes les techniques actuelles. Il n'en est pas de même avec les arbres, d'autant plus que les phénomènes vitaux les plus importants se passent dans les cimes : croissance en longueur et floraison.

Et pourtant, les problèmes biologiques de l'arbre méritent d'être approfondis, aussi bien du point de vue de la science fondamentale que

---

\* Conférence donnée à la séance du 21 janvier 1965.

de la Recherche appliquée. Les arbres posent même des problèmes qui leur sont propres, en raison précisément de la pérennité de leur appareil végétatif. Ils possèdent en effet une architecture qui s'élabore, au cours des années, suivant des lois bien définies, et l'objet de la première partie de cet exposé sera précisément de rappeler ces règles, en me limitant à une famille, celle des Pinacées. J'ai choisi cette famille car elle est de toute première importance pour le sylviculteur. A cette famille de cônifères sont en effet rattachés les genres des principales essences forestières de notre flore spontanée, le Sapin, l'Épicéa, le Mélèze, les Pins et ceux d'essences étrangères à notre flore mais qui sont introduites chez nous et cultivées fréquemment tels les Cèdres, *Pseudotsuga* et *Tsuga*. En citant ces genres, on énumère en fait aussi les espèces forestières qui fournissent une large part de notre production ligneuse actuelle.

### Caractères de la famille des Pinacées.

Toutes les espèces ont des feuilles aciculaires persistantes, à l'exception des Mélèzes qui ont des feuilles caduques. Les genres peuvent être classés d'après un critère morphologique de la façon suivante :

#### *Classification des Pinacées :*

I. uniquement des rameaux longs . . . . .	Abiétées
Genres	Abies
	Picea
	Pseudotsuga
	Tsuga
II. à la fois des rameaux longs et des rameaux courts . .	Laricées
Genres	Larix
	Cedrus
III. à la fois des rameaux longs et des rameaux nains . . .	Pinées
Genre	Pinus

Certains, en effet, ont un appareil végétatif constitué uniquement par des rameaux longs. C'est le cas des Sapins (*Abies*), des Épicéas (*Picea*), des *Pseudotsugas* et des *Tsugas*. D'autres ont des rameaux de deux types : des rameaux longs et des rameaux courts, ces derniers ont une croissance annuelle très faible si bien que les aiguilles insérées sur cette pousse courte semblent être disposées en rosette. C'est le cas des Cèdres (*Cedrus*) à aiguilles persistantes et des Mélèzes (*Larix*). D'autres enfin possèdent à la fois des rameaux longs et des rameaux nains, d'un type spécial, appelés brachyblastes : ce sont les Pins (*Pinus*).

Au point de vue de la reproduction sexuée, il s'agit toujours de végétaux monoïques chez lesquels les deux sexes sont représentés sur un même individu, alors que chez certains cônifères existent quelques exemples de dioïté, par exemple chez l'If et chez les Genévriers. Les organes de la reproduction sont disposés en inflorescences. Les inflorescences femelles sont constituées par un ensemble de pièces, les unes stériles, les bractées, les autres fertiles, les écailles, chaque écaille étant associée à une bractée. Ces pièces sont insérées suivant des hélices sur un axe (Fig. 1). Chez les Pinacées, le nombre des ovules à la face interne est toujours de deux. Il y a donc à maturité deux graines sur chaque écaille. De plus, cette écaille devient ligneuse. Enfin, la bractée correspondante reste indépendante.

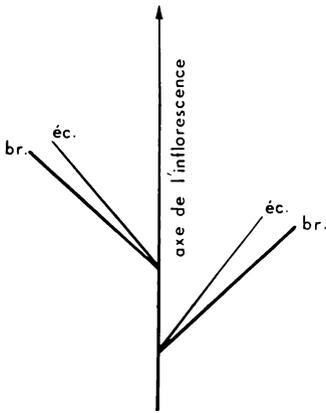


FIGURE N° 1  
Organisation de l'inflorescence  
chez les Pinacées

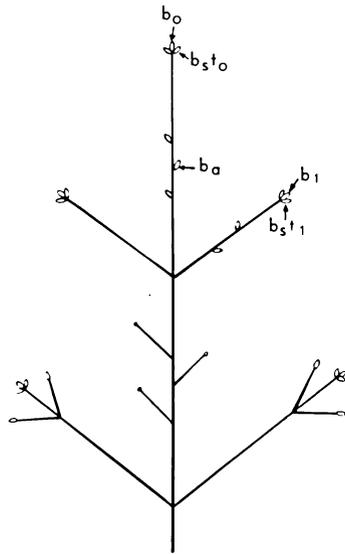


FIGURE N° 2  
Schéma morphogénétique  
chez *Abies*

Après le rappel nécessaire de ces généralités, il est possible d'aborder la question de la morphogénèse, c'est-à-dire de l'élaboration architecturale de l'appareil végétatif chez les différents genres.

Chez les Sapins (genre *Abies*), les caractères morphogénétiques de l'adulte, qui s'établissent à partir de la troisième année, se résument dans un schéma extrêmement simple (Fig. 2) : à l'extrémité de la flèche se trouve un bourgeon terminal  $b_0$  qui assure tous les ans la croissance en hauteur de l'arbre. Immédiatement au-dessous du bourgeon terminal

sont insérés en un pseudoverticille des bourgeons subterminaux — (bsto) qui élaborent les ramifications de premier ordre. Enfin, des bourgeons axillaires (ba) en petit nombre à l'aisselle de certaines aiguilles donnent des rameaux intermédiaires de plus faible vigueur. Il faut noter le rôle privilégié du bourgeon terminal. Cette disposition se retrouve sur les ramifications latérales mais à une symétrie radiale se substitue alors rapidement une symétrie bilatérale. La répétition de ce schéma élémentaire au cours des années de croissance successives permet de comprendre la structure générale d'un individu.

Chez les *Epiceas* et les *Pseudotsuga*, le schéma élémentaire dérive du schéma précédent par les modifications suivantes (cf. Fig. 3) : les bourgeons subterminaux sont moins nettement verticillés. Leur dominance sur les bourgeons axillaires est moins forte. Il y a une différence de vigueur moins marquée entre bourgeons subterminaux et bourgeons axillaires dont la vigueur décroît selon leur éloignement du sommet, comme l'indique la longueur des rameaux élaborés correspondants. Il y a toujours cependant une forte dominance du bourgeon terminal.

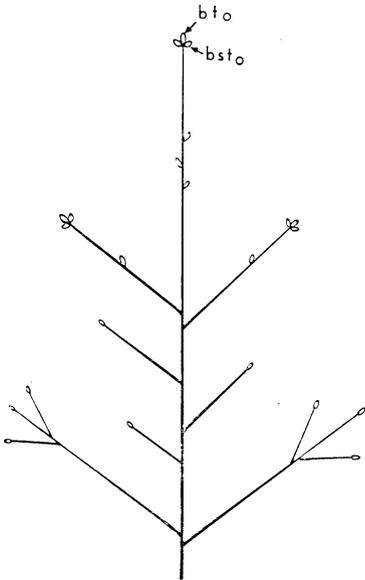


FIGURE N° 3  
Schéma morphogénétique  
chez *Picea* et *Pseudotsuga*

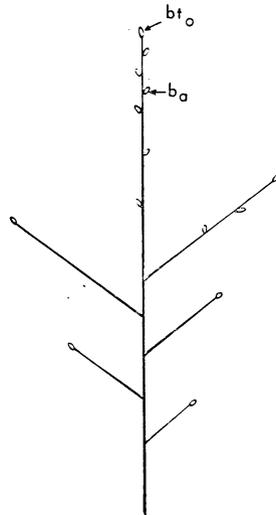


FIGURE N° 4  
Schéma morphogénétique  
chez *Tsuga*

Chez les *Tsuga*, il n'y a plus groupement de bourgeons subterminaux mais uniquement des bourgeons axillaires dont la vigueur décroît, comme chez les *Epiceas*, du sommet vers la base de la pousse annuelle. (Fig. n° 4).

Chez les Cèdres et les Mélèzes, on voit apparaître un nouveau type de rameau, le rameau court. Ces rameaux courts n'apparaissent en fait que sur les ramifications de vigueur déjà diminuée. Leur croissance restreinte n'est due qu'à leur position sur l'édifice de l'arbre et il n'y a pas de différence fondamentale entre les points végétatifs de rameaux longs et ceux de rameaux courts. Il existe d'ailleurs tous les intermédiaires entre rameaux longs et rameaux courts. Le point végétatif apical du rameau court possède les mêmes potentialités que celui du rameau long. Il suffit de modifier, par exemple par la taille d'un rameau, cette distribution de la vigueur pour provoquer l'évolution en rameau long d'un rameau court.

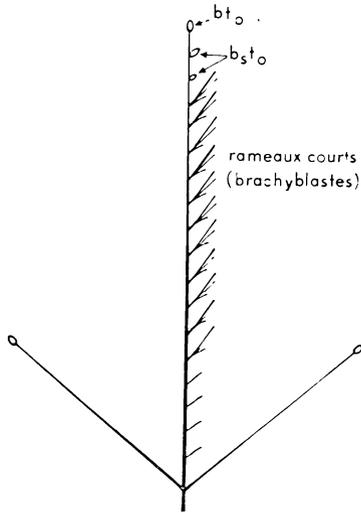


FIGURE n° 5. — Schéma morphogénétique  
chez *Pinus*.

Chez les Pins, le schéma se complique un peu par la présence d'un nouveau type de rameau, le rameau nain ou brachyblaste (Fig. n° 5). En effet, le long d'une pousse de Pin au sommet de laquelle se trouve un bourgeon terminal, sont insérées des pièces qui ont la valeur de vraies feuilles, d'où le nom d'euphylls qui leur est donné. Chez l'adulte, ces euphylls ne sont pas chlorophylliennes et sont réduites à des bractées scarieuses. Sur la Figure 5 n'ont été portées que celles d'une des hélices foliaires supposée développée, le long de la flèche seulement alors que ces dispositions se retrouvent évidemment sur tous les rameaux. A l'aisselle de ces euphylls existent des points végétatifs qui n'évoluent pas de la même façon suivant leur position sur la pousse.

A la base de la pousse, ces points végétatifs restent inertes. Au-dessus, ces points végétatifs donnent les rameaux nains dont les aiguilles groupées en faisceaux de deux, trois ou cinq suivant les espèces, sont en quelque sorte les feuilles terminales, alors que les feuilles de la base, écailleuses, constituent la gaine. Ces rameaux nains, dont la croissance est très généralement prédéterminée, se distinguent nettement ainsi des rameaux courts précités des Cèdres et des Mélèzes à croissance restreinte mais non définie. Enfin, immédiatement sous le bourgeon terminal, les points végétatifs évoluent en bourgeons, qui donneront autant de rameaux longs de premier ordre l'année suivante. Cette disposition se répète sur chaque pousse annuelle comme un cycle. Je dois préciser d'ailleurs que j'ai choisi pour simplifier le cas d'une pousse annuelle ne portant qu'un seul cycle mais certains pins ont des pousses annuelles où ce cycle se répète deux ou trois fois [].

Voici donc les différents schémas élémentaires qui permettent de comprendre l'édification de l'appareil végétatif des Pinacées. Il importe de savoir maintenant où s'insèrent dans ces schémas les inflorescences femelles et les châtons mâles qui ne sont en quelque sorte que des ramifications spécialisées.

C'est après une phase juvénile uniquement végétative que la sexualité apparaît chez les végétaux. Cette phase végétative est plus ou moins longue chez les Pinacées. Elle est par exemple de 6 à 7 ans chez beaucoup de Pins, quoique en 1960, j'ai pu observer des floraisons mâles et femelles exceptionnellement précoces sur des sujets de deux ans, encore en pépinière, de *Pinus banksiana*, pin d'Amérique du Nord. Chez les *Pseudotsuga*, les premières floraisons apparaissent entre dix et quinze ans. Chez les Sapins, il faut attendre généralement comme il a été dit précédemment vingt-cinq ans environ.

De nombreux travaux ont été effectués pour rechercher quels sont les facteurs qui contrôlent l'apparition de la sexualité et les floraisons. Citons parmi les plus récents, ceux de MIROV [9] (1956), ALLEN [1] (1951), HAUPT [4] (1941), SCHUBERT [16] (1956), WAREING [19] (1956), FRASER [2] (1957), MERGEN [8] (1963). Mais il n'en reste pas moins que les phénomènes biochimiques qui induisent les ébauches sexualisées sont encore inconnues chez les pinacées, malgré des travaux récents tels ceux de STANLEY [17] (1957), SAITO [14] (1957), HASHIZUME [3] (1961), alors que les idées d'hormones de floraison dans le règne végétal ont été lancées par SACHS dès 1887.

Cependant, les recherches de physiologie végétale par méthodes biochimiques ne doivent pas faire oublier les moyens d'investigation relevant de la morphologie et des simples méthodes d'observation. Il importe, en effet, de situer les phénomènes de sexualité dans la morpho-

génèse générale en précisant les règles d'insertion des inflorescences femelles et des châtons mâles sur l'appareil végétatif. L'objet de la deuxième partie de cet exposé sera donc de montrer l'intérêt d'une telle étude en regroupant et en comparant les différents schémas rencontrés dans la famille des Pinacées.

Chez les Sapins (genre *Abies*), les inflorescences femelles apparaissent à la partie supérieure de la pousse d'un an (Fig. n° 6), pousse ayant un bourgeon terminal et des bourgeons végétatifs subterminaux. Elles sont isolées ou tout au moins en petit nombre sur la même pousse. Elles occupent ainsi la place des ramifications axillaires de la Fig. n° 2. Au-dessous de l'insertion florale, toute possibilité de ramifications végétatives disparaît. Nous voyons ainsi apparaître pour la première fois une notion de gradient de vigueur : l'inflorescence femelle occupe la place d'une ramification axillaire de faible vigueur.

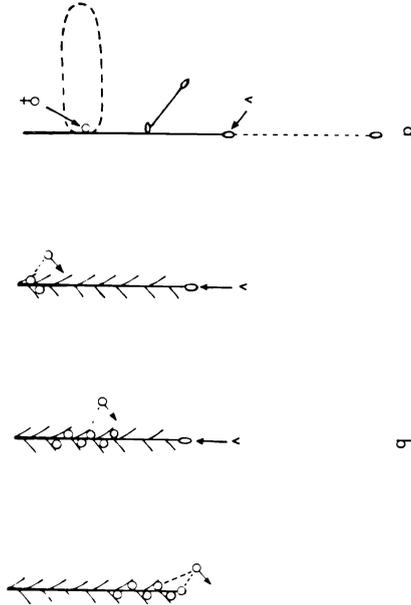
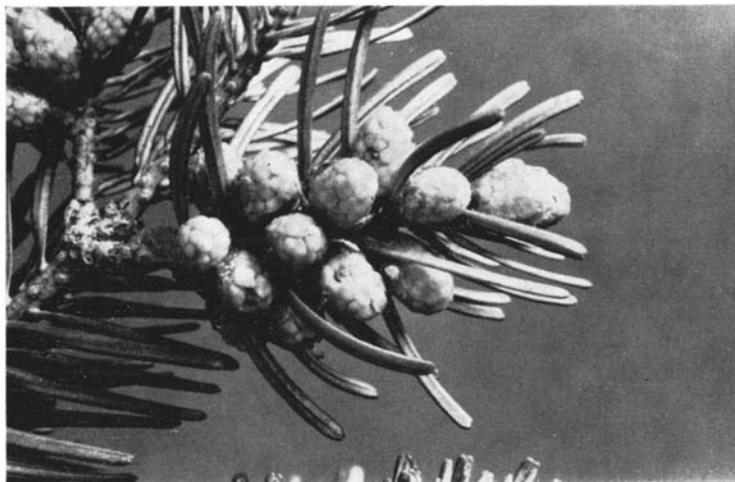


FIGURE n° 6. — Insertion des rameaux sexualisés chez *Abies*.

Les châtons mâles sont insérés à la partie inférieure du rameau d'un an (Fig. n° 6). Ces châtons sont en général nombreux mais le degré de sexualisation de la pousse est très variable. Lorsque la pousse est peu sexualisée, les châtons sont en petit nombre à la base de la pousse. Ils sont issus du développement de points végétatifs situés à l'aisselle de certaines aiguilles, points végétatifs qui restent inertes en dehors des

cas d'évolution sexuelle mâle. Lorsque la sexualisation du rameau est plus forte, la proportion des points végétatifs évoluant en châteaux mâles augmente en progressant vers la pointe du rameau qui reste le plus souvent végétatif. Mais, dans le cas extrême, même le bourgeon terminal peut évoluer en château mâle comme j'ai pu l'observer chez *Abies nephrolepis*, un sapin de Mandchourie et *Abies koreana* cultivés dans notre collection de l'arboretum d'Amance (cf. cliché n° 1).



Cliché n° 1. — Châteaux mâles sur *Abies nephrolepis* avec sexualité atteignant le bourgeon terminal.

Ainsi, chez les Sapins, les inflorescences mâles et femelles apparaissent sur des rameaux différents, spécialisés. Les inflorescences femelles et les châteaux mâles ont des places bien définies dans une échelle des ramifications classées d'après un gradient de vigueur : les inflorescences femelles naissent sur des rameaux vigoureux et se substituent à des ramifications latérales de faible vigueur. Les châteaux mâles naissent sur des rameaux plus faibles qui ont perdu le plus souvent la potentialité de produire des ramifications axillaires, à partir de points végétatifs qui seraient restés inertes sur les rameaux végétatifs ou à sexualité femelle. Cette description de la sexualité chez les sapins serait incomplète si je n'ajoutais que la sexualité femelle y est étroitement localisée. Elle ne se trouve que sur un étage de l'arbre, au-dessous de la flèche végétative, alors que la sexualité mâle peut se rencontrer sur une épaisseur plus importante de l'arbre (Fig. n° 7).

Comment peut-on interpréter ces rapports entre la sexualité et la morphogénèse générale chez les sapins ? Il faut partir du schéma le plus simple : le long d'une pousse élaborée par une masse méristématique

sont distribuées des aiguilles insérées suivant des hélices et il existe à l'aisselle de chaque aiguille des points végétatifs potentiels.

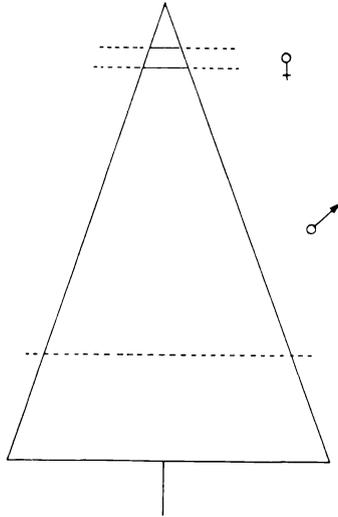


FIGURE n° 7. — Répartition schématique de la sexualité chez les Sapins.

Tout d'abord, on peut classer selon des gradients de vigueur décroissante les types de rameaux végétatifs et sexualisés d'après les différentes évolutions des points végétatifs axillaires. Ces types schématisés (Fig. n° 8) avec des pousses sur lesquelles une seule hélice a été représentée, sont les suivantes :

1° La pousse végétative vigoureuse dont la plus grande partie des points végétatifs axillaires restent inertes, à l'exception des terminaux et d'un petit nombre d'axillaires qui évoluent en bourgeons de rameaux longs.

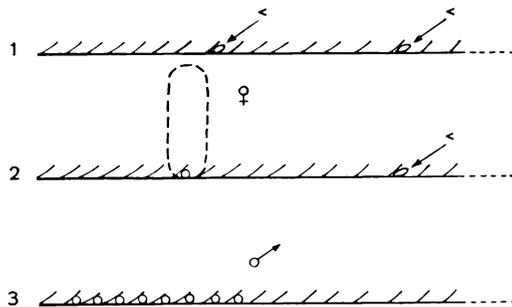


FIGURE n° 8. — Insertion des rameaux végétatifs et sexualisés chez *Abies*.

2° La pousse à sexualité femelle, qui dérive du premier type par l'évolution d'un petit nombre de ramifications axillaires en inflorescences femelles.

3° La pousse à sexualité mâle, dont des points végétatifs axillaires évoluent en plus ou moins grand nombre en châtons mâles.

Chez notre *Epicea*, l'inflorescence femelle est presque toujours terminale sur un rameau long. Mais pour comprendre la sexualité dans l'ensemble de ce genre, il faut tenir compte de ce que l'on peut observer chez d'autres espèces du genre *Picea* telles que *Picea glauca*, l'épinette blanche du Canada, *P. omorica*, espèce endémique de Serbie et de Croatie ou *P. jezoensis*, espèce japonaise. Chez ces épicéas, les inflorescences femelles sont très généralement axillaires et non isolées sur le rameau d'un an. L'étude de différentes dispositions d'insertion d'inflorescences femelles et de châtons mâles chez les épicéas montre que l'on trouve toutes les dispositions correspondant à des ramifications de vigueur décroissante, depuis le rameau vigoureux uniquement végétatif donc à caractère encore juvénile, jusqu'au rameau faible dont le seul point végétatif terminal aboutit à un châton mâle terminal. Ces dispositions sont représentées sur la Figure 9 : la sexualité femelle apparaît sur des points végétatifs axillaires, puis gagne le bourgeon terminal (schémas 2, 3 et 4 de la Fig. 9). Ce dernier cas est donc celui de beaucoup le plus fréquent de notre épicéa. Mais contrairement à ce qui se passe chez les Sapins, au-dessous des inflorescences femelles, peuvent apparaître des points végétatifs qui donnent des pousses courtes (V'). De même, les châtons mâles apparaissent sur des pousses moins vigoureuses, d'abord à la place de ramifications axillaires à la base de la pousse (schéma 5 de la Fig. 9) ; puis, lorsque la sexualisation est plus poussée, la totalité des bourgeons de la pousse y compris le bourgeon terminal évoluent en châtons mâles (Fig. 9, schémas 6, 7 et 8). Dans le cas extrême, un châton mâle en position terminale est la seule production de tout le rameau qui a ainsi achevé son évolution. Il y a souvent suivant la vigueur des rameaux, apparition soit uniquement de la sexualité femelle soit uniquement de la sexualité mâle comme chez les Sapins. Mais il existe aussi des pousses hermaphrodites, femelles au sommet et mâles à la base, à la différence de ce qui se passe chez les Sapins.

Ainsi, chez les *Epicéas*, on retrouve comme chez les Sapins un classement de l'évolution des points végétatifs suivant leur vigueur et leur position relative sur la pousse : pousse uniquement végétative à caractère juvénile, inflorescence femelle, pousse végétative de faible vigueur, châtons mâles.

Chez les *Pseudotsuga*, des dispositions très semblables se retrouvent. Elles sont schématisées sur la Figure 10. On a là encore toutes

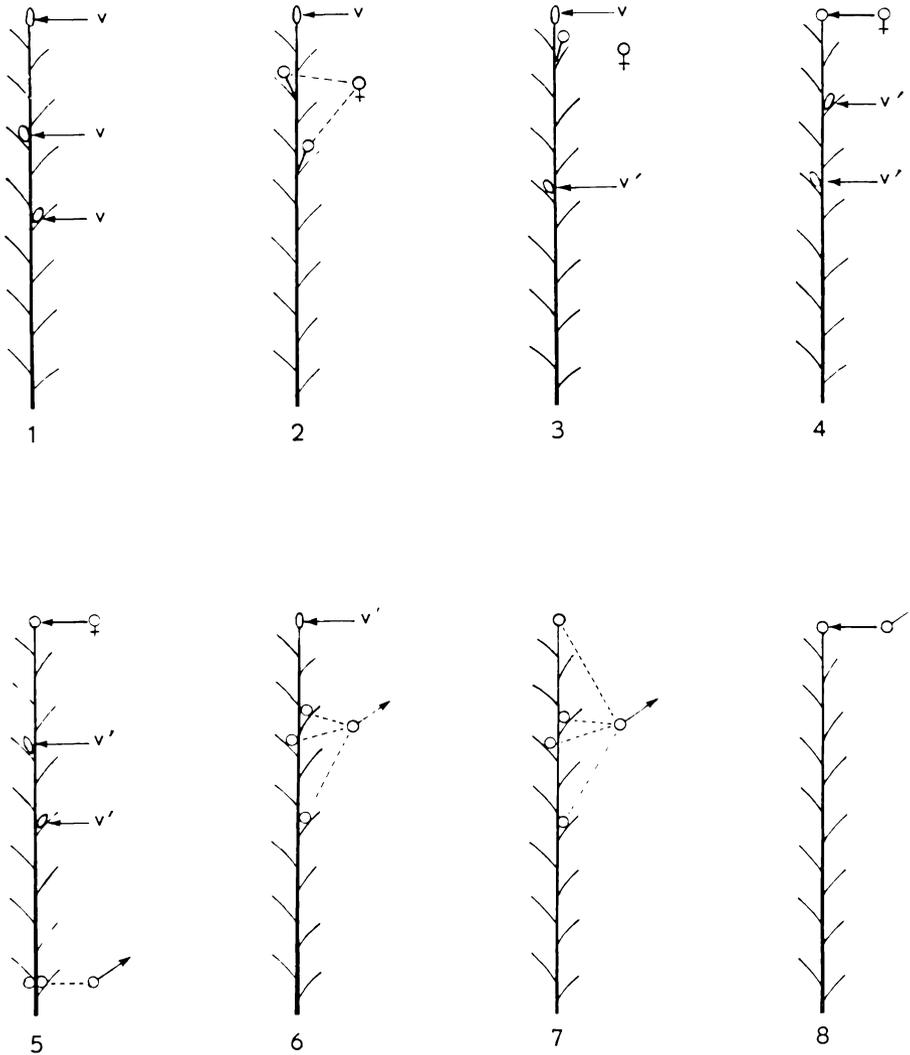


FIGURE n° 9. — Différentes dispositions des rameaux sexualisés végétatifs et sexualisés chez *Picea*.

les dispositions intermédiaires entre les rameaux uniquement végétatifs, les rameaux à sexualité femelle axillaire, le type le plus fréquent étant celui à inflorescences subterminales (Fig. 10, schéma 3) ; les rameaux hermaphrodites, à inflorescence femelle subterminale et à châtons mâles dans la partie basse ; enfin, les rameaux uniquement à châtons mâles. Nous n'avons jamais rencontré d'inflorescence femelle terminale, pas

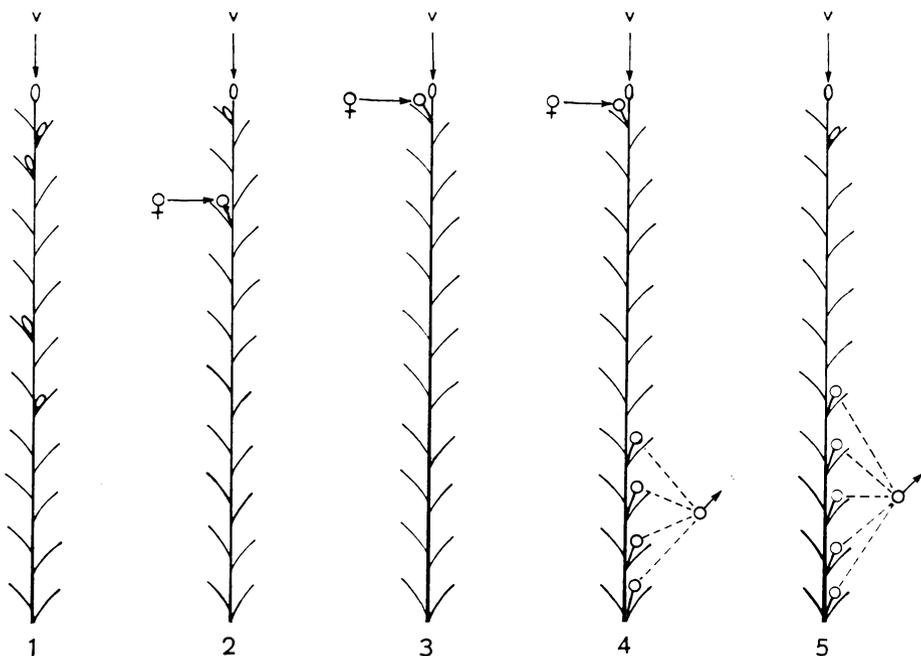


FIGURE n° 10. — Différentes dispositions des rameaux végétatifs et sexualisés chez *Pseudotsuga*.

plus que de châtons mâles terminaux. Par contre, la disposition typique des évolutions femelles et mâles peut être troublée par l'apparition de châtons mâles dans une partie du rameau où existent des inflorescences femelles. Cette anomalie peut facilement s'interpréter par les différences biologiques qui existent à un même niveau du rameau, entre la partie supérieure, où naissent toujours les inflorescences femelles et la partie inférieure, où sont insérés les châtons mâles.

Chez les *Tsuga*, la disposition est plus simple (Fig. n° 11) : l'inflorescence femelle semble toujours terminale et donc isolée ou tout au moins, nous n'avons jamais observé une insertion d'un autre type. Les châtons mâles ont une disposition très semblable à celle des sapins. Ils sont groupés à la partie inférieure du rameau d'un an, insérés à l'aisselle de certaines aiguilles. Comme chez les Epicéas, il apparaît des ramifications végétatives de faible vigueur (v) en position axillaire sur un rameau dont le bourgeon terminal a évolué en inflorescence femelle. Mais il faut noter que ces ramifications semblent inhibées pendant l'année de l'évolution florale et ne se développent que l'année suivante. Il en est de même de certains châtons mâles dont les ébauches apparues normalement sur le rameau d'un an n'évoluent pas immédiatement mais seulement l'année suivante si bien que les châtons s'épanouissent sur le rameau de deux ans.

Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des genres ne portant apparemment que des rameaux d'un seul type, le rameau long. Chez les genres à rameaux courts dont la croissance annuelle est très faible, Mélèze et Cèdre, la disposition des évolutions sexuelles est bien différente : les inflorescences femelles et châtons mâles apparaissent toujours au sommet de rameaux courts. Par exemple, chez les Mélèzes, ce sont des rameaux courts jeunes, c'est-à-dire insérés sur des rameaux longs âgés de un à deux ans qui évoluent en inflorescences femelles. Il faut

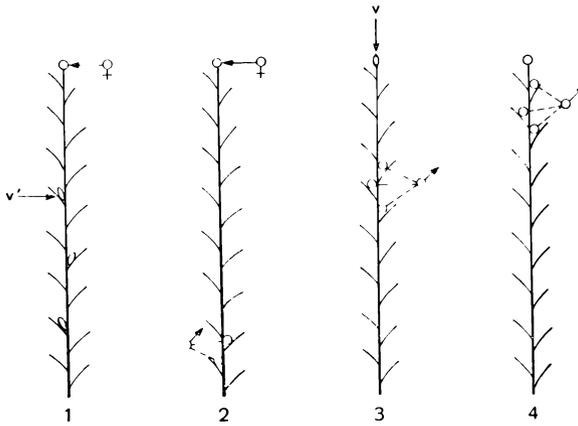


FIGURE n° 11. — Différentes dispositions des rameaux végétatifs et sexualisés chez *Tsuga*.

noter que ce type de rameau court n'est pas entièrement sexualisé puisqu'au-dessous de la fleur, sur ce rameau, sont insérées des aiguilles. Les châtons mâles sont également issus de l'évolution de certains rameaux courts, qui, par leur position sur l'ensemble de l'arbre, par exemple ordre de ramification élevé — ou sur le rameau — base de la pousse annuelle, partie inférieure du rameau, ont une vigueur diminuée. Il faut ajouter que la sexualisation du rameau est totale car le rameau court qui évolue en châton mâle, à la différence de celui évoluant en inflorescence femelle, est dépourvu d'aiguilles.

Chez les Cèdres, la disposition est identique mais la différenciation sexuelle des rameaux courts est plus tardive. Ce sont des rameaux courts de quatre à cinq ans qui produisent des inflorescences femelles. Ceux qui produisent des châtons mâles peuvent avoir sept à huit ans. Comme chez les Mélèzes, cette différence d'évolution semble réglée par la position du rameau court sur l'ensemble de l'arbre aussi bien que sur la pousse de l'année.

On peut même avancer, quoique cette idée demande à être vérifiée par de nouvelles observations prolongées, que l'évolution finale des rameaux courts est inévitablement une différenciation sexuelle, après un stage plus ou moins long à l'état végétatif.

J'en arrive maintenant au cas peut-être le plus complexe mais sans doute aussi le plus démonstratif, celui des Pins.

Cette question a été traitée à plusieurs reprises par H. PRAT [10] [11] [12], qui a montré l'existence de gradients morphogénétiques. En effet, inflorescences femelles et châteaux mâles apparaissent en des zones bien définies du cycle dont j'ai fait état précisément.

Les inflorescences femelles, isolées ou en petit nombre, proviennent de l'évolution de points végétatifs situés le long de l'hélice foliaire immédiatement au-dessous de la zone des bourgeons (cf. Fig. 12).

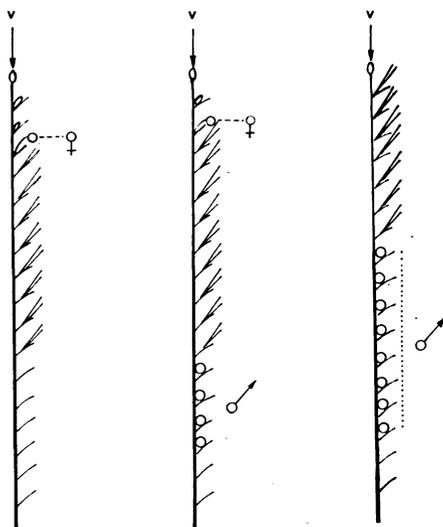


FIGURE n° 12. — Répartition schématique des évolutions végétatives et sexualisées chez *Pinus*.

Les châteaux mâles souvent groupés en un véritable manchon, proviennent de l'évolution des points végétatifs situés à la base de la zone des brachyblastes.

On retrouve aussi chez les Pins les différentes possibilités de l'évolution des ramifications suivant la vigueur des rameaux : rameaux uniquement végétatifs, rameaux portant en position terminale des inflorescences femelles, rameaux portant des inflorescences femelles au

sommet et des châtons mâles à la base, rameaux mâles avec un manchon plus ou moins étendu de châtons occupant une proportion variable des points végétatifs suivant le degré de sexualisation.

## Conclusions

Après avoir précisé les différents schémas d'apparition de ramifications sexualisées dans la morphogénèse générale chez les Pinacées, il me faut dégager maintenant les règles générales qui apparaissent :

1° Tout d'abord, il existe une liaison évidente entre la vigueur d'une masse méristématique et l'évolution végétative ou sexualisée de l'axe qu'elle est appelée à élaborer. En effet, dans le sens d'une vigueur décroissante, cette masse méristématique peut donner soit un rameau long végétatif, soit une inflorescence femelle, soit un châton mâle. A ces trois types principaux, peuvent s'adjoindre d'autres évolutions végétatives plus faibles, s'intercalant entre évolutions femelles et mâles tel le rameau nain du Pin ou plus faibles que des évolutions mâles.

2° D'autre part, le long d'une pousse, il y a un gradient de vigueur décroissante depuis la partie apicale jusqu'à la base, ce qui, compte tenu de la position dominante du point végétatif terminal, entraîne un classement par vigueur décroissante des pousses suivant l'ordre des ramifications.

Ces deux règles permettent d'expliquer la répartition générale de la sexualité sur un sujet, telle celle du sapin déjà donnée dans la Figure n° 8 ou celle plus complexe des Pins, analysée par exemple chez le Pin sylvestre par WAREING [18].

Ainsi se retrouve la loi sexuelle chez les cônifères énoncée succinctement par un botaniste américain, MEEHAM [7] en 1869, qui semble avoir été le premier à établir une relation entre évolutions sexuelles et affaiblissement de la vigueur végétative. En fait, c'est la conception des gradients morphogénétiques mis en évidence par PRAT chez les Pins qui peut être étendue à l'ensemble des Pinacées avec de simples variations du schéma général dans chacun des genres.

Cette disposition éclaire d'un jour nouveau les débats sur l'interprétation des inflorescences femelles et des châtons mâles qui a passionné pendant longtemps les botanistes. L'inflorescence femelle apparaît comme un type de ramification intermédiaire entre le rameau long à croissance très généralement prédéterminée. Le châton mâle est au contraire une évolution affaiblie d'un brachyblaste. Il existe donc un gradient d'évolution des points végétatifs axillaires de la pousse longue des Pins suivant la vigueur de ce rameau long, elle-même en rapport avec sa position

sur l'arbre, et la position du point végétatif sur la pousse elle-même. Les points végétatifs peuvent ainsi évoluer soit en rameaux longs, soit en inflorescences femelles, soit en rameaux nains ou brachyblastes, soit en châtons mâles ou enfin rester inertes.

Cette loi permet d'interpréter non seulement les dispositions les plus fréquentes des ramifications sexualisées mais aussi ce que l'on considère très souvent comme des anomalies : il faut citer par exemple l'existence très fréquente, notamment chez le Mélèze mais aussi chez les Pins et Sapins, d'inflorescences femelles prolongées par des rameaux végétatifs. Il faut citer également le cas des inflorescences exceptionnellement hermaphrodites, femelles au sommet, mâles à la base, souvent signalées notamment par RIGHTER [13], JAHN [5], ZOBEL [20] et SANTAMOUR [15]. Enfin, l'abondance normale d'inflorescences femelles chez les Pins, très souvent signalée, par exemple par MAYR [6] ou la présence d'inflorescences caulinaires, c'est-à-dire insérées sur l'axe principal du sujet, ne sont que des cas particuliers entrant dans un même schéma général.

Nous pensons que cette loi ne doit jamais être perdue de vue par les physiologistes qui cherchent actuellement par des voies biochimiques, les raisons de la différenciation sexuelle d'un axe chez les arbres et chez les végétaux en général, problème certainement important de physiologie végétale, dont on voit immédiatement les applications pratiques en Agronomie et en matière forestière.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALLEN. — Release and fertilization stimulate longleaf pine cone crop.  
*Jour. for.* 51, 827, 1953.
- [2] FRASER. — Ecological studies of forest trees at Chalk River, Ontario, Canada - III - IV .  
Annual and seasonal march of soil temperature on several sites under a hardwood stand.  
*Forest Res. Div. Tech. Note, Forestry Branch - Canada Dept. of Northern affairs and National Resources, Ottawa, 1957.*
- [3] HASHIZUME. — Artificial control of sex defferenciation in japanese red pine strobili.  
*Bull. Tottori University Forests*, n° 2, 1-13 (jap. res. anglais).
- [4] HAUPT. — Oögenesis and fertilization in *Pinus lambertiana* and *Pinus monophylla*.  
*Bot. gaz.* 102, 482-498, 1941.
- [5] JAHN (G.). — Genetische studien an Bäumen.  
*Mitt. Deut. Dendrol. Ges.*, 52, 137-142.

- [6] MAYR (H.). — Die Entstehung der zopfenaufhäufung (Zapfensucht) an den Föhren.  
*Mitt. Deut. Dendrol. Ges.*, 10, 56-57.
  - [7] MEEHAM. — Sexual law in the Coniferae.  
*Proc. Acad. of Nat. Sci. of Phila.*, 2, p. 121, 1869.
  - [8] MERGEN. — Sex transformation in Pine hybrids.  
*Forest Science*, Vol. 9, 3, p. 258-261, 1963.
  - [9] MIROV. — Photoperiod and flowering of pines.  
*For. Sci.* 2, 328-332, 1956.
  - [10] PRAT (H.). — Les gradients histophysiologiques et l'organogénèse végétale.  
*Contributions de l'Institut bot. de Montréal*, n° 58.
  - [11] PRAT (H.). — Sur la correspondance entre la structure des pousses de pins et les cycles saisonniers.  
*Livre jubilaire dédié au Professeur L. DANIEL*, 19 p., 1936.
  - [12] PRAT (H.). — Note sur les pousses courtes du Pin maritime.  
*Bull. de la Station biol. d'Arcachon*, t. 27, 19 p., 1930.
  - [13] RIGHTER. — Stoffwechselfysiologische Vorgänge bei der Blüten und Fruchtbildung der Obstgehölze.  
*Arch. Gartenbau* 2, 101-126, 1954.
  - [14] SAITO. — Artificial control of sex differentiation in Japanese red pine and black pine strobiles.  
*Jour. Fac. Agric. Tottori University* 3, I, 17 p., 1957.
  - [15] SANTAMOUR (F.S.). — Bisexual conelets in spruce.  
*Morris Arboretum Bull.* 10 (1), 10-11 p.
  - [16] SCHUBERT. — Effect fertilizer on cone production of sugar pines.  
*California for. and range Exp. Sta. Res.*, Note 116, 1956.
  - [17] STANLEY. — Methods and concepts applied to a study of flowering in Pines.  
*The Physiology of forest trees*, pp. 583-600, 1957.
  - [18] WAREING (P.F.). — Growth studies in woody species, I-III.  
*Physiol. Plant*, 3, 258-276, 300-314 - 1950, 4, 41-56, 1951.
  - [19] WAREING (P.F.). — Reproductive development in *Pinus sylvestris*.  
*Physiology of forest trees*, pp. 643-654, 1956.
  - [20] ZOBEL (B.J.). — Abnormal cone formation in pines.  
*Texas J. Science*, 4, 517-520.
-

**MICROHÉTÉROGÉNÉITÉ DES FRACTIONS PROTÉIQUES  
DE L'HÉMOLYMPHE DE *CARCINUS MAENAS L.*  
DÉCELÉE PAR L'ÉTUDE DE LEUR MOBILITÉ  
ÉLECTROPHORÉTIQUE EN GEL DE GÉLOSE \***

par

G. DESCOUTURELLE et R. FRENTZ

---

RÉSUMÉ. — Mise en évidence de trois nouvelles fractions dans l'hémolymphe de *Carcinus maenas* et d'un gradient de mobilité électrophorétique dans les fractions intermédiaire et distale. Cette dernière, qui renferme l'hémocyanine, serait constituée par une famille de protéines très voisines présentant toute une gradation dans leur constitution.

Par électrophorèse sur papier et en gélose, l'un de nous a montré l'existence, dans l'hémolymphe de *Carcinus maenas*, de trois fractions protéiques principales : une fraction D (distale) qui contient l'hémocyanine ; une fraction I (intermédiaire) de nature glycoprotéique ; une fraction P (proximale) formée à la fois de lipoprotéines et de glycoprotéines (1), (2). Dans certaines conditions expérimentales, en gélose, on assiste à la scission de D en trois sous-fractions (2). De plus, l'analyse immunoélectrophorétique révèle la présence de trois antigènes à la fois dans I et dans D (2), (3).

Nous avons essayé de pousser plus avant cette analyse en utilisant un procédé de double électrophorèse en gélose permettant de comparer les mobilités électrophorétiques des protéines réparties à divers niveaux dans les fractions I et D.

---

\* Note présentée à la séance du 11 février 1965.

## I. — Principe.

Les fractions protéiques, individualisées par une électrophorèse préliminaire, sont ensuite fragmentées par une série de prélèvements qui sont soumis à une deuxième électrophorèse. Les différences de mobilité électrophorétique des protéines prélevées révèlent l'hétérogénéité des fractions.

Nous n'envisagerons ici que la mobilité électrophorétique apparente, c'est-à-dire la distance réellement parcourue par la fraction dans la plaque de gélose, distance qui est la résultante de la mobilité vraie de la protéine et de la mobilité électro-osmotique de la phase liquide du gel.

## II. — Matériel et Technique.

Les électrophorèses en gel de gélose ont été réalisées conformément à la technique originale de GRABAR et WILLIAMS (4) dans la cuve à usages multiples mise au point par l'un de nous (5). Les conditions expérimentales ont été décrites dans une précédente note (6). Les caractéristiques essentielles sont :

- Tampon véronal pH 8, 2, force ionique 0,05,
- Gélose à 1 %, pH 8, 2, force ionique 0,025,
- Différence de potentiel : 4 volts/cm,
- Durée des expériences : 4 h. 30,
- Coloration des protéines par l'amidoschwarz à 1 % après fixation à l'eau acétique et dessiccation du gel.

Seule la teneur en protéines (4 g/l) des sérums gélosés déposés dans les réservoirs de départ a été modifiée.

## III. — Mode opératoire.

### A. — ELECTROPHORÈSE PRÉLIMINAIRE.

Il est commode d'utiliser un réservoir de départ d'une longueur (3 à 12 cm) nettement supérieure à la normale. La concentration des protéines qui y sont incluses (environ 30 g/l de sérum gélosé) est sept à huit fois supérieure à celle qui donne la meilleure reproductibilité expérimentale (6). Cette surcharge du dépôt provoque un effet de traînée important, mais cet inconvénient est compensé par la présence d'une quantité de protéines suffisante pour rendre perceptibles des phénomènes masqués dans la technique courante.

Avant de fixer et de colorer les fractions, des prélèvements de protéines sont effectués à différents niveaux dans les plaques.

B. — PRÉLÈVEMENTS.

Deux procédés différents peuvent être employés :

1° De petits blocs de gélose sont découpés à l'emporte-pièce dans la plaque de gel et sont ensuite directement intégrés dans une nouvelle plaque d'électrophorèse (Fig. 1).

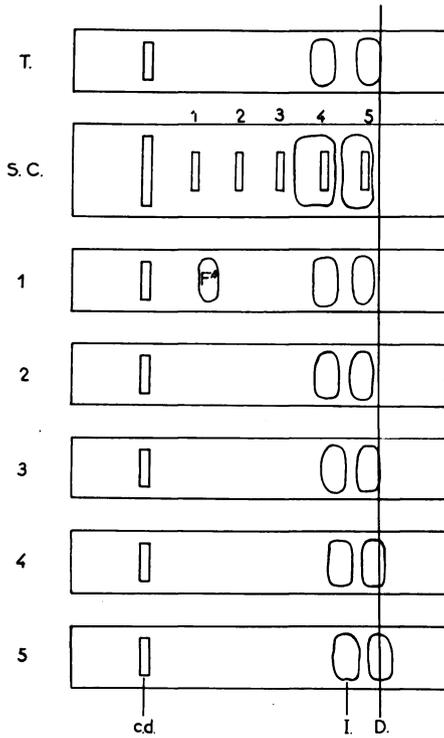


FIG. 1. — Double électrophorèse par prélèvements de blocs de gélose.

- T. = Electrophorèse témoin (concentration = 4 g/l).
- S.C. = Electrophorèse préliminaire (concentration = 29 g/l).
- Plaques n°s 1, 2, 3, 4 et 5 = électrophorèse des prélèvements.
- c.d. = cuvette de dépôt ; I = fraction intermédiaire ; D = fraction distale ; F'' = fraction supplémentaire.

2° En fin de dissociation électrophorétique, devant le front de migration de la fraction étudiée, on creuse dans le gel une cuvette de

4 mm de large que l'on emplit de tampon véronal. Les protéines, en continuant leur course, pénètrent dans ce réservoir où elles sont prélevées toutes les dix minutes (Fig. 2). Ces extraits, avant d'être soumis à une nouvelle électrophorèse, peuvent être purifiés par dialyse puis concentrés par pervaporation.

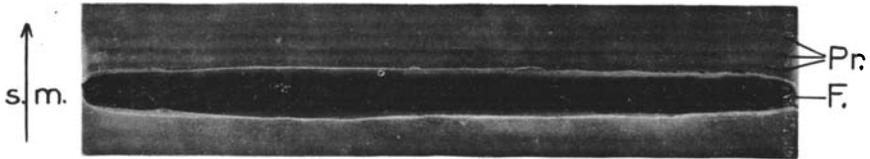


FIG. 2. — Négatif montrant les prélèvements successifs de la fraction distale dans une fosse (F.) creusée dans la gélose.

s.m. = sens de la migration.

Pr. = emplacement des protéines prélevées, délimité par les protéines restantes.

#### C. — ELECTROPHORÈSE DES PRÉLÈVEMENTS.

La concentration des protéines prélevées est très variable : elle dépend de l'importance de la fraction étudiée dans le sérum initial, du procédé d'extraction, du niveau du prélèvement dans la plaque de gel. Vouloir opérer à une concentration constante aurait soulevé un grand nombre de problèmes difficiles à résoudre. De plus, le but envisagé est essentiellement d'ordre qualitatif. Nous nous sommes donc bornés à établir empiriquement la quantité de protéines à mettre en jeu dans l'électrophorèse préliminaire afin d'obtenir des électrophorégrammes facilement interprétables à partir des différents types de prélèvements.

#### IV. — Résultats.

Le procédé de surcharge du dépôt et de double électrophorèse met en évidence :

- Une perturbation de la mobilité électrophorétique et de la dissociation des fractions ;
- Des fractions protéiques nouvelles ;
- Un gradient de mobilité dans les fractions I et D.

##### A. — PERTURBATIONS RÉSULTANT D'UNE FORTE CONCENTRATION EN ELECTROPHORÈSE PRÉLIMINAIRE.

###### 1° Diminution de la mobilité électrophorétique :

Deux électrophorèses ont été réalisées à partir de la même hémolymphe ; dans la première (Fig. 1, T.) la concentration est de 4 g de protéines par litre de sérum gélosé ; dans la seconde (Fig. 1, S.C.), la

concentration s'élève à 29 g/l. La comparaison des deux électrophorogrammes montre qu'une forte concentration diminue la mobilité électrophorétique de la fraction D.

Le même phénomène apparaît dans les électrophorèses courantes pour la fraction P, composée en grande partie de lipoprotéines, dont le déplacement diminue lorsque la concentration augmente. Il a également été souligné par URIEL et GRABAR (7) à propos de l' $\alpha$  2 lipoprotéine du sérum humain.

Il est donc possible qu'il s'agisse d'un phénomène commun à toutes les protéines, mais plus marqué pour certaines.

#### 2° *Perturbation de la dissociation des fractions :*

L'électrophorogramme de sérum concentré (Fig. 1, S.C.) montre que les deux fractions I et D sont normalement individualisées bien que suivies l'une et l'autre d'une traînée importante.

La double électrophorèse par prélèvements de blocs de gélose révèle la présence de protéines I et D aux niveaux 1, 2, 3, 4, et 5, alors que dans les conditions normales, I se situe exclusivement en 4 et D en 5.

Donc, une concentration excessive perturbe le classement par ordre de mobilité électrophorétique d'une partie des protéines : certaines molécules se trouvent freinées, d'autres sont entraînées au-delà de leur déplacement habituel.

Cette expérience confirme bien la nécessité, pour les études courantes, d'opérer à une concentration beaucoup plus faible (4 g par litre de sérum gélosé).

#### B. — APPARITION DE FRACTIONS NOUVELLES.

Trois nouvelles fractions ont été mises en évidence dans les électrophorogrammes des prélèvements. Deux d'entre elles (F et F'), très faibles, sont apparues immédiatement derrière D (Fig. 3). La troisième (F''), caractérisée par une mobilité électrophorétique restreinte, s'est individualisée nettement (Fig. 1).

#### C. — EXISTENCE D'UN GRADIENT DE MOBILITÉ DANS LES FRACTIONS I ET D.

L'examen des plaques 1, 2, 3, 4 et 5 de la Figure 1 montre que les protéines des fractions I et D, prélevées dans l'électrophorèse de sérum concentré (S.C.) au niveau correspondant à leur numéro, n'ont pas toutes la même mobilité électrophorétique. Leur déplacement est d'autant plus important que leur prélèvement a été effectué à une plus

grande distance de la cuvette de dépôt. Les molécules des fractions I et D n'ont donc pas toutes la même capacité de migration et ces différences font que, dans l'électrophorèse de sérum concentré (S.C.), elles subissent un certain classement, malgré la perturbation apportée à l'ensemble de l'électrophorèse.

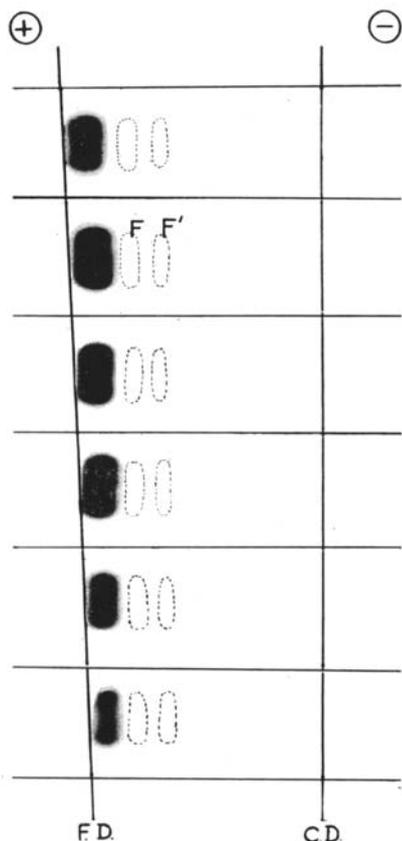


FIG. 3. — Electrophorèse de six extraits de la fraction D, prélevés selon la technique représentée en Fig. 2. Leur mobilité électrophorétique est régulièrement décroissante. C.D. = cuvette de dépôt. F.D. = front de migration de la fraction distale. F et F' = fractions supplémentaires.

L'existence de ce gradient de mobilité peut être confirmée en fragmentant la fraction distale par six prélèvements successifs lors du passage de ces protéines dans une cuvette emplies de solution tampon (Fig. 2). Les mobilités électrophorétiques régulièrement décroissantes obtenues à partir de ces six extraits (Fig. 3) concordent avec les résultats précédents.

## V. — Discussion.

La technique de la double électrophorèse a permis la mise en évidence de trois nouvelles fractions et a apporté quelques précisions sur celles qui étaient déjà connues.

Les fractions F, F' et F'' ne s'individualisent pas dans les électrophorèses ordinaires en raison de leur trop faible concentration dans l'hémolymphe. Dans les électrophorèses de sérum concentré, elles ne sont pas identifiables car elles sont mélangées aux protéines des fractions I et D qui sont retardées dans leur migration. Seule une double électrophorèse permet de les révéler.

La fraction F'', qui est apparue assez loin de I et de D, est certainement une unité qui possède une autonomie complète.

Il faut être beaucoup plus prudent dans l'interprétation des fractions F et F'. Leur mise en évidence, à partir de prélèvements effectués à différents niveaux dans la fraction D, suggère qu'elles sont issues de cette dernière, soit par dépolymérisation, soit par toute autre modification moléculaire. Il est d'ailleurs probable que ces sous-fractions correspondent à celles qui peuvent être observées, dans certaines conditions seulement, en électrophorèse simple. L'hypothèse de cette polydispersion de l'hémocyanine paraît être étayée par la découverte, en microscopie électronique, d'une scission possible des molécules-mères en deux ou plusieurs unités, selon les caractéristiques du milieu (8).

A côté de l'existence de ces trois sous-fractions nettement individualisées dans le groupe D, le gradient de mobilité observé suggère qu'il y a lieu de considérer l'une d'elles (la plus anodique) comme étant formée par une famille de molécules très voisines présentant toute une gradation dans leur constitution.

Une interprétation analogue est également valable pour la fraction I. L'hétérogénéité de cette dernière s'est manifestée au cours de ces recherches : cette fraction est susceptible de se scinder en deux groupes de protéines, décelables par électrophorèse simple, après vieillissement, mélange des hémolymphe de deux Crabs, action d'un sel neutre comme le sulfate d'ammonium, séjour prolongé dans une solution de véronal sodique de pH 8, 2. Le phénomène se traduit par une diminution de la mobilité électrophorétique d'une partie de la fraction pouvant atteindre plus de 50 % de celle-ci.

Notons enfin que la fraction P, bien qu'elle n'ait pas fait l'objet d'une étude approfondie dans le cadre de ce travail, présente une variation de sa mobilité électrophorétique en sens inverse de sa concentration.

## Conclusion

L'application d'une électrophorèse double à l'hémolymphe de *Carcinus maenas* se révèle être un moyen d'étude fructueux, complémentaire des techniques usuelles en gélose.

Il a conduit à la mise en évidence de protéines dont la concentration dans l'hémolymphe est très faible. Il a permis également de prouver l'existence, dans les fractions I et D, d'un gradient de mobilité électrophorétique qui laisse présager une microhétérogénéité moléculaire conforme aux résultats d'autres procédés d'investigation.

(*Institut de Biologie générale, Faculté des Sciences de Nancy*)

Directeur : A. VEILLET

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) FRENTZ (R.). — *C.R. Acad. Sci.*, 1958, **247**, p. 2204-2206.
  - (2) FRENTZ (R.). — *Bull. Soc. Sci. Nancy*, 1960, nouvelle série, **19**, mém. I, p. 1-176.
  - (3) FRENTZ (R.), VEILLET (A.). — *XVth Intern. Congr. Zool.*, London, Sect. VI, Paper 11., p. 1-3, 1959, W. Clowes and Sons limited, London.
  - (4) GRABAR (P.), WILLIAMS (C.). — *Biochim. Biophys. Acta*, 1953, **10**, p. 193-194, et 1955, **17**, p. 67-74.
  - (5) FRENTZ (R.). — *Clin. Chim. Acta*, 1959, **4**, p. 340-345.
  - (6) DESCOUTURELLE (G.), FRENTZ (R.). — *Bull. Acad. Soc. Lorr. Sci.*, 1965, sous presse.
  - (7) URIEL (J.), GRABAR (P.). — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1956, **38**, p. 1253-1269.
  - (8) VAN BRUGGE (E.F.J.). — *Thèse Sci. nat.*, 1962, Groningen. Drukkerij Van Denderen NV. Groningen.
-

**QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE BAJOCIEN  
DANS LE JURA SUISSE SEPTENTRIONAL \***

par

Pierre L. MAUBEUGE

---

Depuis le travail à caractère synthétique de ROLLIER (4), nous disposons d'éléments plus ou moins précis sur la série bajocienne dans la chaîne du Jura. Il reste néanmoins bien des points à élucider.

Dans son beau travail d'ensemble datant déjà d'une vingtaine d'années, H. SCHMASSMANN s'est attaché plus spécialement à une étude fouillée du Bajocien supérieur et du Bathonien dans le Jura suisse septentrional (5).

De mon côté, j'ai étudié ces problèmes dans la même région, depuis une quinzaine d'années ; j'ai décrit des coupes relevées à divers niveaux du Bajocien (3). Ces années dernières, j'ai pu disposer de profils nouveaux. Ils complètent ou remplacent ceux étudiés par mes devanciers ; et l'un apporte même des éléments dans un secteur où se manifestent les changements de faciès, avec données précises entièrement nouvelles.

**Description des coupes**

I. RÉGION DE LIESBERG. — Dans la vallée de la Birs, entre Bâle et Delémont, une série d'affleurements fait des environs du Liesberg-Mühle, une région classique pour la stratigraphie du Jurassique moyen et supérieur (1, 2, 4, 6).

---

(\*) Note présentée à la séance du 11 février 1965.

Les coupes levées par ROLLIER, il y a 57 ans, sont évidemment parfois disparues, ou défraîchies ; c'est le cas du contact Bajocien-Bathonien dans les anciennes carrières en contre-haut de la route de grandes communications, dans le virage (pp. 53-55 (4).

N'employant pas toujours les noms d'étages, et surtout avec les définitions actuelles de ceux-ci, quand il ne s'abstient pas de préciser les limites, le travail de ROLLIER laisse dans des incertitudes pour qui ne connaît pas les lieux et la coupe.

A. - Or, un profil datant de ces années dernières, avec des conditions de fraîcheur, permet d'accéder très facilement au contact Bajocien-Bathonien ; l'avantage de cette coupe est de donner un profil presque continue des séries, en partant du Jurassique supérieur de la cluse où se trouve le village de Liesberg.

La coupe se situe au col, à l'amorce de la descente sur la vallée de la Birs entre Liesberg village et Oberrüti. On est donc là sur le flanc S.-E. de la montagne Abi avant la remontée du Chestel.

On note de haut en bas : sur 22 m. de longueur, bancs minces, irréguliers, subverticaux, de marne brun-jaune et gris-jaune, avec bancs de calcaire marneux parfois granuleux, parfois cristallin, spathique, gris-bleu, à débris coquilliers ; ces lits calcaires deviennent plus réguliers vers la moitié inférieure. Les 4 m. inférieurs montrent quelques éléments granuleux faiblement ferrugineux, limonitiques. Il y a des Brachiopodes plus nombreux, écrasés. Enfin, le mètre de la base est plus argileux, gris-bleu, feuilleté. L'ensemble est très peu fossilifère.

#### *Base du Bathonien moyen.*

Surface érodée taraudée, couverte d'Huîtres. Toit du Bathonien inférieur.

0,40 m. : calcaire oolithique et granuleux, terreux à brun-jaune, à débris coquilliers, roulés, moules internes de Brachiopodes et nombreux *Anabacia orbulites Lam.* Passage à

0,60 m. : calcaire blanc, finement oolithique, compact. Passage à

0,40 m. : le même, un peu marneux, à débris coquilliers ; des *Anabacia*. Passage à

0,50 m. : marno-calcaire avec son milieu très calcaire, granuleux, à débris coquilliers, broyés, feuillets d'argile grise.

Surface oxydée, taraudée, nette.

Bajocien supérieur.

0,20 m. : calcaire sublithographique, gris-blanc, compact (faciès « Calcaire à *Rh. decorata*). Passage brutal à

3,20 m. : calcaire d'abord pur, presque blanc, à fines oolithes, plus ou

moins miliaire, puis à oolithes plus grosses, mais miliaires, avec des fins débris coquilliers. Le ciment est plus cristallin. Nombreuses taches bleues vers le bas, et oolithes gris-noir. Quelques filets marneux vers la base. Puis passage à

1,00 m. : calcaire et marno-calcaire finement micacé, à pâte fine, gris-clair à beige. Passage à 1,60 m. : calcaire très marneux, gris-jaune à beige ou blanchâtre, très mêlé d'argile en veinules gris-bleu avec des oolithes finement miliaires, libres, la roche étant friable. Passage continu à un

Massif épais, bien visible sur quelques mètres (puis assez caché en descendant sur la vallée), de calcaire plus ou moins oolithique et surtout suboolithique, compact ou sub-cristallin, parfois à taches bleues ou mêlé de marne en veinules ; quelques gros débris coquilliers sporadiques. C'est la « Grande oolithe » typique du Bajocien supérieur.

J'ai trouvé dans le Bathonien inférieur, des morceaux fréquents d'un *Clypeus* qui est peut-être celui rapporté sous le nom de *Cl. testudinatus* BRUCKNER, par ROLLIER. Cette même espèce est fréquente au même niveau, dans le même faciès, au champ de tir de Sichtern, au-dessus de Liestal (Bâle-Campagne) (1, coupe p. 6), où j'y ai trouvé en outre un beau *Radulopecten vagans* Sow., datant bien le Bathonien et non le Bajocien supérieur, *Catinula subknorri* CHARLES et MAUBEUGE, l'accompagnait (identique à l'holotype, pl. IV, fig. 18-19), espèce qui va du Bajocien moyen au Bathonien moyen.

#### B. - Bajocien moyen corallien :

Dans ce même mémoire, ROLLIER cite les faciès coralliens du Bajocien moyen, donc dans la suite du profil de l'étage. Mais la position exacte des récifs n'est pas précisée ; d'autre part, il n'y a pas, régionalement, d'Ammonites citées dans le Bajocien.

J'ai disposé de la coupe suivante découvert en 1962, qui a dégagé un gîte fossilifère d'Ammonites et donne des détails lithostratigraphiques intéressants.

En bordure de la route de Bâle à Delémont, entre Liesberg-Mühle et Oberrüti, à mi-distance, au début du raccourci montant au col d'Oberrüti à Liesberg, un début de chemin a été exécuté. On est là juste au-dessus de la mauvaise coupe que j'ai décrite autrefois (1). C'est à 5 m. au-dessus de la route, à l'extrémité du chemin long de 50 m., qui entame alors la montagne.

La coupe est subverticale, vu le plissement de Liesberg, n'excédant pas 3 m. de hauteur totale, les récifs de Polypiers étant du côté de la

vallée, donc au S.-W. (les couches les plus récentes sont du côté de la vallée). On lève stratigraphiquement, de bas en haut :

3,80 m. : calcaire gris et jaune, vitreux, taché d'ocre, dans un calcaire beige à pâte fine, un peu marneux, parfois brun-jaune clair. Il montre des taches irrégulières de Polypiers saccharoïdes, avec grands radioles de *Cidaris*. Les 0,90 m. du sommet sont irrégulièrement injectés d'oxyde de fer rouge-lie de vin, aussi bien dans le calcaire que dans les délits irréguliers d'argile grasse. Des *Chlamys Dewalquei* OPPEL. Le sommet de la masse des Polypiers est nettement érodé, et faiblement tarauté, montrant quelques trous de Lithophages.

1,30 m. : argile et marne grise, parfois jaune, criblées de plaquettes de calcaire cristallin faiblement spathique, brun et gris-jaune ; très nombreux débris coquilliers indéterminables, *Pinna*, Huîtres (*Alectryonia*), Bélemnites dont *Megateuthis giganteus* SCHL., *Ctenostreon*, Spongiaires. De nombreux fossiles sont brassés, usés ; on voit d'ailleurs des moules internes de petites Pholadomyes, roulés, très usés.

1,70 m. : calcaire marneux identique, rocailleux ; quelques lits marneux ; fossiles rares, des Spongiaires.

0,20 m. : argile grasse, gris-noir.

0,80 m. : calcaire dur, en dalles, gris-jaune et gris-bleu, cristallin, spathique.

0,05 m. : argile grise, gris-noir.

0,30 m. : calcaire comme les 0,80 m., avec *Oxytoma inaequalis* Sow., *Polyplectites* nombreux.

0,60 m. environ : marno-calcaire jaune à rares oolithes ferrugineuses, passant très vite, en bas, à un minerai marneux rouge-lie de vin, riche en oolithes et fausses oolithes brun-rouge à rouille dans un ciment de même couleur ou jaune. Rares Bélemnites ; très nombreuses Ammonites, surtout des *Polyplectites*, *Normannites* (étude détaillée dans (3)).

0,40 m. : marne et argile gris-noirâtre à brune.

0,80 m. : un banc de calcaire cristallin, un banc de marne grise, un banc de calcaire. Le calcaire est marneux, gris, à pâte fine, micacé ; la marne est feuilletée, sablo-micacée.

La coupe décrite antérieurement (1, p. 6) en contrebas, tout près de là, montre le calcaire spathique ferrugineux de la zone à *O. Sauzei* passant à des calcaires rocailleux avec lits marneux grisâtres, pauvres en Polypiers. Donc, il manque très peu de sédiments masqués, même compte tenu des déformations tectoniques, pour joindre les deux profils.

## II. - RÉGION DE SISSACH (Bâle-Campagne) :

Un profil naturel existe à 6 kms à l'Est de Liestal, dans le Jura bâlois, tabulaire, vis-à-vis de Sissach. On est là dans un secteur où ROLLIER n'a donné aucun profil pour le contact Bajocien-Bathonien ; il en est de même dans le travail de SCHMASSMANN, un assez large intervalle n'étant pas couvert par des coupes vers Sissach, dans ce travail. Comme on est là en plein dans une région de changements de faciès, une coupe détaillée risque d'apporter des précisions nouvelles. C'est bien le cas. On est en effet dans la région de passage, pour le Bathonien inférieur, du faciès « Grober-Oolith », au « Spathkalke », respectivement d'Ouest en Est.

Coupe du côté Sud de la Fluhe de Sissach (altitude 701) (camp retranché néolithique), sur la terrasse du belvédère dominant la ville et en face de la chaîne du Jura. De haut en bas :

0,80 m. : calcaire compact, terreux, cristallin, à filets jaunes et taches ocres, avec parties marneuses ; il tend vers le faciès habituel marno-calcaire, des « Couches à *Varians* » ; l'extrême base devient un calcaire spathique gris-beige, jaunâtre, à nombreux débris spathiques, très petits, des fausses oolithes rondes, couleur beige-crème, très petites ; le tout est marbré de filets de calcite gris-bleuâtre. Au milieu, un énorme *Perisphinctes* (3) : *Procerites Hodsoni* ARKELL.

Surface taraudée, oxydée, couverte d'Huîtres. Elle est bien visible au sommet des escaliers naturels formés par la roche ; on la suit avec un pendage de 0,70 m. de dénivellation sur 6 mètres de longueur, à l'Est.

2,00 m. au total : calcaire blanc à beige ou jaunâtre ; il est saumon à son extrême sommet, avec débris coquilliers. C'est un calcaire cristallin, parfois blanchâtre, scintillant, à suboolithique ou même à oolithes miliaires plus ou moins nombreuses.

Les fossiles sont rarissimes, mais la providentielle Ammonite restée en place en un endroit aussi fréquenté, date bien le Bathonien moyen. On a donc le contact Bathonien moyen et inférieur, ce dernier ayant un faciès inhabituel.

---

BIBLIOGRAPHIE

- (1) MAUBEUGE (P.L.). — Les Ammonites aaléniennes, bajociennes et bathoniennes du Jura suisse septentrional - 1<sup>re</sup> partie. Vol. 71.  
*Mémoires suisses de Paléontologie*, 1955, 48 pp., 11 Pl.
  - (2) MAUBEUGE (P.L.). — Sur le contact du Rauracien et de l'Oxfordien en Rauracie (Jura suisse septentrional).  
*Colloque du Jurassique*, Luxembourg, 1962, pp. 629-638.
  - (3) MAUBEUGE (P.L.). — Catalogue des Ammonites du Jurassique inférieur et moyen. Supplément (Hettangien à Bathonien) du Musée Cantonal de Bâle-Campagne.  
*Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland* - En attente de publication.
  - (4) ROLLIER (L.). — Les faciès du Dogger ou Oolithique dans le Jura et les régions voisines.  
Mémoire publié par la Fondation Schnyder von Wartensee à Zürich, 1911. 1 vol., 352 pp.
  - (5) SCHMASSMANN (H.). — Stratigraphie des mittleren Doggers der Nordschweiz.  
*Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland*, Bd. 14, 1944, pp. 13-180, 5 Taf.
  - (6) STAUBLE (A.J.). — Zur Stratigraphie des Callovian im zentralen Schweizer Jura.  
*Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. 52, n° 1, 1959, pp. 57-176.
-

**LE PROBLEME DES FAUNES COSMOPOLITES  
DANS LE JURASSIQUE MESO - EUROPEEN :  
ABSENCE D'ESPECES D'AMMONITES AMERICAINES  
DANS LE JURA SUISSE SEPTENTRIONAL \***

par

Pierre L. MAUBEUGE

---

L'existence de provinces paléozoologiques est un fait indiscutable ; il existe, même pour les Ammonites, groupe marin nageur de vaste diffusion, excellent indice chronologique zonal, des complications de détail. Ceci à telle enseigne que sur un continent, quand ce n'est pas un même pays, des groupes de formes nous apparaissent, actuellement de façon inexplicable, très cantonnés. En ce qui concerne le Jurassique européen et même seulement méso-européen, nous voyons bien les problèmes qui peuvent se poser maintenant à ce propos et permettre un champ de recherches nouvelles (1).

Jusqu'ici le Jura suisse septentrional n'a pas montré des faunes d'Ammonites, dans tous les étages du Jurassique, bien différentes de celles connues en France, Allemagne et même Angleterre.

Pendant plusieurs années, j'avais pu voir, lors de mes passages au Museum d'Histoire Naturelle de Bâle une énorme et superbe Ammonite du callovo-oxfordien ferrugineux de Herznach, avec une détermination surprenante. Pensant qu'il s'agissait d'une dénomination provisoire et non d'une véritable détermination, j'avais formulé quelques remarques à mes interlocuteurs et des réserves.

---

(\*) Note présentée à la séance du 11 février 1965.

Or, en 1963, dans la chronique du Museum de Bâle, l'importante revue des Naturalistes bâlois figure, sans qu'aucun article ou commentaire accompagne la planche, cette Ammonite vue à plusieurs reprises. Ceci à cause de la beauté du spécimen et de sa grandeur, dont la réduction photographique empêche de se rendre bien compte à première vue. Mais aucun commentaire n'accompagne cette pièce bien qu'il s'agisse selon le nom avancé, d'une espèce américaine, incontestablement jamais citée dans toute la Suisse, jamais en Allemagne, ni en Angleterre, pas plus en Russie ou ailleurs en Europe ; sauf une fois en France, et je me propose de montrer que c'est probablement là la cause de l'erreur et de la pseudo-énigme paléozoologique.

Le fossile est donné comme *Cardioceras (Scarburgiceras) cordiforme* MEEK et HAYDEN.

Il me paraît hors de doute, le travail de ces auteurs américains étant assez peu accessible en Europe, que le report au seul traité de SHIMER et SHROCK, Pl. 242, fig. 1-2, ne permettait pas de retenir l'espèce américaine. Il y a dissemblance totale dans la vue latérale comme dans les cloisons fournies avec précision, et visibles avec non moins de précision sur le fossile suisse.

Ignorant à quel ouvrage le déterminateur s'est référé, je présume, et aucune autre explication ne paraît concevable, que celui-ci s'est contenté sans vérifications, d'un report à la figuration de MAIRE (pl. XX, fig. 4, donné d'ailleurs comme aff.) ; celle-ci concerne un individu de 60 mm, lequel ne peut en aucun cas être rapporté à l'espèce américaine. Par ailleurs, il ne paraît pas voisin du fossile suisse, autant que la différence considérable de taille permet des comparaisons.

Ma première impression, en examinant l'Ammonite de Bâle, était qu'il ne s'agissait pas d'un *Cardioceras*, chose immédiatement évidente à n'importe qui connaît les faunes d'Ammonites, mais bien d'un *Pachyceras*. Ayant pu disposer d'une excellente photographie grandeur nature, grâce à l'obligeance du Museum et plus spécialement de M. le Dr E. GASCHÉ, j'ai pu reprendre la détermination exacte de cette Ammonite litigieuse.

Il y a quelques difficultés à déterminer avec certitude une Ammonite d'une telle taille, dont aucune n'est figurée aussi grosse.

D'emblée, j'étais tenté de rapprocher le fossile suisse de l'espèce de D'ORBIGNY (Paléontologie Française, Ammonites jurassiques, Pl. 175). Il s'agit de *Pachyceras Lalandeanum* D'ORBIGNY. Le specimen des figures 1-2 n'a que 85 mm de diamètre mais paraît avoir ces enroulement et costulation. Les cloisons, ici très bien bien visibles, sont du même type que celles fournies par D'ORBIGNY, fig. 3, mais ont des lobes bien



Le « *Cardioceras (Scarburgiceras) cordiforme* MEEK et HAYDEN » du Museum d'Histoire Naturelle de Bâle - Oxfordien de Herznach (Argovie, Suisse) - J 11943, coll. A. Travi, 1962, déterm. F. Woltersdorf, photographie K. Rotpletz, cliché grandeur 1/2, aimablement communiqué par le Museum de Bâle. (Cf. *Basler Naturhist. Museum, Jahresbericht 1962*, p. 19, *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, Bd. 74, N. 1, S. 1-160, 1963.

plus allongés. Outre la question de l'âge, on peut aussi expliquer ces différences très sensibles si le specimen de D'ORBIGNY est corrodé, ce qui modifie rapidement les dessins cloisonnaires (les figures 4-5 de D'ORBIGNY concernent une très jeune Ammonite, probablement la même). D'ORBIGNY donne l'espèce dans l'Oxfordien inférieur.

Voulant avoir une certitude, j'ai sollicité l'avis d'un spécialiste, connaissant bien les faunes calloviennes. M. le Dr Arnold ZEISS (Erlangen) a bien voulu me donner son précieux avis, ce dont je lui suis très obligé. Hésitant entre *P. Indicum* SPATH et *P. Lalandeanum* D'ORBIGNY, M. le Dr ZEISS me signalait que la figure de R. DOUVILLE, 1912, Tabl. 2, fig. 1, le conduisait à retenir l'espèce de D'ORBIGNY, après comparaisons.

Le fossile suisse a pour dimensions : diamètre 190 mm. (+ ?) ; hauteur du dernier tour : 94 mm. (à ce diamètre) ; son épaisseur : 82 mm. (section plate, subtriangulaire) ; hauteur de flanc non couverte à l'avant-dernier tour : 7 mm. ; hauteur de l'avant-dernier tour : env. 49 mm. C'est un moule interne en minerai de fer oolithique marno-calcaire, avec cloisons très bien conservées ; la chambre d'habitation ne semble pas préservée ; l'échantillon est d'ailleurs brisé, devant présenter un diamètre encore plus grand.

Il ne fait pas de doute qu'il s'agit d'un *Pachyceras*, soit précisément l'espèce de D'ORBIGNY, soit une forme très voisine qui ne paraît pas devoir en être séparée. Cette espèce n'avait pas été citée par A. JEANNET dans sa monographie sur les Ammonites du célèbre gisement fossilifère de Herznach en Argovie. L'espèce reste assez rare dans les divers affleurements du Jurassique européen, ou a du moins une présence assez sporadique, alors que les faunes du Callovo-Oxfordien sont habituellement riches en Ammonites à représentants fréquents pour la plupart des espèces.

Ce specimen est certes une pièce de musée, à cause de sa conservation et de sa taille exceptionnelle.

Mais il perd l'essentiel de son intérêt bio-stratigraphique attendu qu'il ne s'agit en aucun cas d'un représentant des faunes callovo-oxfordiennes du Jurassique américain ; la chose aurait eu un intérêt paléobiologique considérable, basé d'ailleurs sur un specimen unique et d'autant plus étonnant.

BIBLIOGRAPHIE

- DOUVILLE (R.). — Etude sur les Cardioceratidés de Dives, etc...  
*Mém. Soc. Géol. Fr.*, Paléontologie, N° 45, 1912.
- JEANNET (A.). — Stratigraphie und Palaeontologie des oolithischen Eisenerzlagern von Herznach und seiner Umgebung.  
*Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, XIII*, Lief. 5.1 Teil, 1955, 240 pp., 106 Pl.
- MAUBEUGE (P.L.). — Quelques considérations sur la question des faunes cosmopolites et spécialement méditerranéennes dans le bassin de Paris, pp. 507-510, 1 pl. in  
*Colloque international du Jurassique*, Luxembourg 1962, 1964.
- MAIRE (V.). — Contribution à la connaissance des Cardioceratidés.  
*Mém. Soc. Géol. Fr.*, T. XV, F. 2-3, Mém. 34, pp. 1-132, Pl. I-XX, 1938.
- D'ORBIGNY (A.). — Paléontologie Française, I. Terrains Jurassiques. Cephalopodes. 1842-49.
- SHIMER (H.W.), SHROCK (R.R.). — Index Fossils of North America.  
*Publ. Technol. Press. Massachusetts Institute of Technology*. 2<sup>e</sup> éd., 1947, 837 pp.
-

**UNE COUPE GEOLOGIQUE CONTINUE  
DANS LE JURASSIQUE INFÉRIEUR  
DU JURA TABULAIRE D'ARGOVIE (Suisse) (\*)**

par

Pierre L. MAUBEUGE

---

A cause de la nature lithologique des couches, de leur puissance, de la morphologie et de la tectonique, le Jurassique inférieur reste plus difficilement accessible que le Jurassique moyen et supérieur, dans la chaîne du Jura suisse septentrional. Les lacunes d'observation et l'absence de coupes permanentes sont d'autant plus regrettables que le Jura a livré les fondements stratigraphiques du Système Jurassique.

Le Jura d'Argovie, entre Rhin et Aare, est ainsi une terre classique pour les études sur la stratigraphie du Jurassique. En ce qui concerne les horizons inférieurs, il faut pourtant se reporter encore aux vénérables et centenaires travaux de MOESCH ; ceux-ci ont été heureusement complétés par des investigations plus récentes, telles celles de BRANDLIN, mais il y a déjà plus d'un demi-siècle. L'absence de travaux plus nombreux est pour une part liée aux difficultés d'accéder à des bons profils. C'est dire qu'il reste bien des précisions fondamentales à établir.

Aussi, je crois intéressant de rapporter les observations que j'ai faites il y a quelques années lors de la création de nouveaux chemins de montagne, sur le côté Est de la vallée, à Obersulz (N.E. de Frick), donc sous le Grosshalden-Geissacker, éperon tabulaire calcaire du Jurassique moyen. On lève du Nord au Sud, à 40 m. environ du fond de la vallée, tout près et à l'Est du village.

---

(\*) Note présentée à la séance du 11 février 1965.

En suivant le chemin, donc dans l'ordre stratigraphique ascendant (bas en haut) :

Marne jaune altérée.

Lotharingien et Pliensbachien inférieur (= Carixien) : 1,60 m. : calcaire cristallin plus ou moins scintillant, gris-jaune à beige, taché d'ocre et de phosphate de chaux diffus ; il est rugueux par places. Intercalaires irréguliers marno-calcaires, évoquant assez le faciès du « Calcaire ocreux » de Lorraine. Des Bélemnites indéterminables. *Liogryphea obliqua* Sow., *Chlamys* sp. Tout au sommet le calcaire n'a plus ce faciès « Calcaire ocreux », il devient plus marneux, et souvent prend une pâte fine ; tout en haut, il affecte même parfois un aspect presque sublithographique, tel le « Calcaire à Pr. Davoei » de Lorraine ou d'Allemagne. Il m'a livré un *Fimbrilytoceras fimbriatum* Sow.

Surface érodée terminale, portant quelques galets marno-calcaires, arrondis.

0,60 m. : marne argileuse, avec 1 *Amaltheus Stokesi* Sow., en bas. Deux *Amaltheus* indéterminables, phosphatisées, dans l'affleurement du panneau à l'Est. *Plicatula spinosa* Sow.

0,20 m. : calcaire à pâte fine, sublithographique, gris-beige, à jaunâtre, criblé de Bélemnites, dont des *Passaloteuthis*.

1,85 m. : argile gris-jaune, criblée de Bélemnites dont *P. Bruguieri* D'ORBIGNY, à la base, et dans les 0,50 m. du haut, avec des *Plicatula spinosa* LAMK.

0,10 m. : banc de calcaire beige, marneux, à pâte fine, terreux, micacé. Pares Térébratules et *Mesoteuthis*, y compris dans la couche suivante.

(Toarcien ?) : 0,40 m. : argile plus ou moins altérée, brune à gris-jaune, très finement micacée, plastique.

Limite nette.

Toarcien : 1,20 m. : schistes bitumineux papyracés, « Schistes cartons », gris.

0,20 m. : banc de calcaire cristallin, à débris coquilliers et de Poissons, fétide au choc, gris-noir.

1,40 m. : « Schistes cartons ».

0,40 m. : calcaire marneux feuilleté.

1,80 m. : « Schistes cartons ».

0,30 m. : argile gris-jaune avec 1 *Dactylioceras* juvénile indéterminable.

0,20 m. : (en place ? ou glissé ?), blanc de calcaire un peu cristallin, à pâte fine, gris.

0,20 m. : argile gris-jaune criblée de Bélemnites dont *Dactyloteuthis acuarius* SCHLOT. Des petits nodules phosphatés criblés de perforations de Lithophages, grêles et allongées ; des *Haugia* ind.bles roulées, 1 *Polyplectus discoïdes* ZIETEN, phosphatisé.

1,60 m. : banc irrégulier de calcaire plus ou moins cristallin, gris-beige, à pâte fine, avec intercalaires marneux ; la moitié inférieure est criblée de Bélemnites.

(La moitié supérieure est peut-être perturbée par une faille ou un glissement ?? seule l'épaisseur de la moitié inférieure est certaine, ayant été vue en place non disloquée).

Paquet de marne beige-jaunâtre, altérée.

A 25 m. environ de là, à 2-3 mètres plus bas, on retrouve la même série, abaissée, par faille, bien moins nette ; on est donc un peu plus au Sud. Le banc du « Calcaire à *Pr. Davoei* » se suit assez bien sur quelque distance jusqu'à l'inflexion du chemin, amorçant une courbe avant le carrefour avec le chemin montant directement sur les vignes au N.-E. Là, l'extrême sommet du « Calcaire à *Pr. Davoei* », m'a livré un beau moule interne, incomplet, de 8 cm. env. de diamètre, d'un *Androgynoceras capricornus* SCHL. (in SPATH. Pl. XXVI, Fig. 13a, b, 1938 ; à même diamètre, les côtes sont ici un peu moins denses).

Ce banc arrive au niveau du chemin à l'amorce du virage ; dans le virage même, on voit les « Schistes cartons » redressés, subverticaux, avec les argiles du Toarcien dans le méandre du chemin.

Tout à fait au N.-O., on voit cette série du Jurassique inférieur butter par faille contre le Trias ; car aussitôt après le début de la coupe, il y a une faible longueur sans terrains dégagés ; mais une courbe s'amorce pour permettre la descente vers le village ; à cet endroit, les « Marnes irisées » sont dégagées ; il manque donc la série basale du Jurassique et le Rhétien.

Si on suit le chemin de ce côté, on se trouve rapidement à quelques mètres en altitude sous la coupe décrite pour le Jurassique inférieur, exactement en dessous. Une tranchée assez importante s'amorce là, à nouveau dans un virage. Elle permet d'accéder aux niveaux plus inférieurs du Jurassique.

Il paraît manquer seulement les argiles du Sinémurien supérieur (= Lotharingien), équivalentes des « Argiles à *Promiceroeras* » de Lorraine. A peu de chose près, ce doit être la tranche de terrains non dégagée. Il s'en faut donc de très peu que la série de tranchées donne une des meilleures coupes continues du Jurassique inférieur dans le Jura septentrional, actuellement.

Du côté N.-O., on observe une masse de marne dolomitique jaune-beige, probablement glissée, de disposition confuse ; puis de la marne grise, gris-jaune et un peu ocre, et grise, feuilletée, nettement schisteuse. Il y a ensuite un peu de marne schisteuse gris-clair, puis de la marne schisteuse grise.

Cette série, ramenée en puissance verticale, n'excède pas quelques mètres.

Ensuite, on peut lever en détail :

0,10 m. : banc de marne dolomitique gris-vert clair.

0,40 m. : marne feuilletée grise et gris-jaune.

Puis, reposant en apparence régulièrement dessus la marne :

1,60 m. : calcaire massif, cristallin spathique, à parties gris-bleu, altéré en roux, très peu bitumineux. Il est faiblement chargé de marne diffuse, par places. Quelques intercalaires très minces, irréguliers, marneux, se dessinent. On voit d'assez nombreux débris coquilliers calcifiés, et de nombreuses *Liogryphea* entières, surtout *L. arcuata* LMK. J'ai observé un seul *Plagiostoma gigantea* Sow., et au milieu, très engagé dans la roche, un *Arietites* cf. *Conybeary* Sow. avec un *Coroniceras* Sp. du groupe de *rotiformis* Sow. à côtes très espacées, diamètre env. 16 cm. Les *Pentacrinus* et *Chlamys* deviennent assez nombreux en haut. Tout en haut, dans l'ordre stratigraphique ascendant, il faut ajouter 0,08 m. de marne argileuse, formant délit constant ; puis 0,20 m., banc calcaire net, identique. Le sol montre une traînée argileuse : ou bien c'est un éboulis, ou déjà les couches argileuses du Lotharingien.

Ce massif calcaire pend faiblement vers l'Est.

Telle quelle, cette coupe pose une énigme stratigraphique. On semble avoir une superposition normale du Jurassique sur le Trias ; à première vue, elle est d'autant plus normale que le Rhétien, selon ERNI et BRANDLIN, manque régionalement. On aurait, avec les argiles feuilletées grises les « Marnes à Insectes » de l'Hettangien.

Mais, la présence du banc de marne dolomitique, l'absence de fossiles lors de mes observations, laissent à penser que ce sont des argiles triasiques et non de l'Hettangien. La superposition apparemment normale paraît, à l'analyse, impliquer un contact par faille. Tout en haut de la tranchée, le calcaire du Sinémurien est diaclasé et montre tout contre le Trias, des traces de friction ; ceci disparaît rapidement vu la nature des couches en contact. Si l'on admet que la base du massif calcaire a légèrement glissé vers la vallée le long du plan de faille, on comprend qu'en piochant l'affleurement, à la limite du possible, on voit toujours la superposition qui semble normale. Le Trias argileux

érodé mécaniquement, et s'avancant légèrement en coin sous le paquet calcaire paraît expliquer et la disposition et la lithologie aberrante si on cherche une série Trias-Jurassique normale. Il faut donc se résigner à ne pas trouver là un contact Trias-Jurassique, toujours si difficile à étudier à loisir. Une excellente occasion d'étudier les célèbres « Marnes à Insectes » échappe également ; c'est d'autant plus regrettable que la localité classique de Schambelen citée depuis plus d'un siècle par HEER et MOESCH (bord de la Reuss, entre Baden et Brugg, à Müllingen, juste en face de la célèbre localité de Birnenstorf où sont prises les « Couches de Birnenstorf ») ne paraît pas offrir de coupe permanente. Le lieu-dit Schambelen est à 15 kms environ au S.-E. de Sulz.

Plus haut, dans les vignes, un chemin part du virage où l'on voit les « Schistes cartons » redressés. On voit, rapidement, des blocs éboulés de « Calcaire à Gryphées » du Sinémurien. Les *Liogryphea arcuata* LMK. y sont nombreuses, avec une variété à crochet très tordu latéralement. J'y ai récolté un assez bon *Asteroceras obtusum* SOW., de 18 cms env. de diamètre (identique à Pl. XXXV, fig. 1-10, de REYNES, dont les fig. 9-10 sont cf. l'espèce de SOWERBY, selon DONOVAN). Comme en Lorraine, cette espèce lotharingienne apparaît donc au sommet du « Calcaire à Gryphées », base du Lotharingien.

En continuant de gravir l'éperon, on arrive devant la ferme moderne qui domine le flanc de montagne et tous ces éléments de coupes. Il a fallu dégager un espace entre les bâtiments et le relief qui continue plus haut. On retrouve là sur une hauteur plus grande que précédemment, avec un fort pendage, les différents horizons dégagés. Il paraît bien que l'on touche même les « Argiles à *Promicroceras* » invisibles précédemment.

Je retiendrai seulement la base du profil qui apporte des précisions nouvelles, rien de particulier n'étant notable dans le Toarcien.

De haut en bas, on note : sous les bancs de calcaire et de marne avec un *Androgynoceras* cf. *capricornu* SOW., et un très jeune *Prodactylioceras Davoei* SOW., pyriteux de 70 mm. env. de diamètre.

0,30 m. : marne sableuse feuilletée, phosphatée, à Lamellibranches et des *Liogryphea obliqua* SOW., dont des spécimens roulés, taraudés. Des concrétions phosphatées, non roulées, que l'on pourrait prendre à première vue pour des vrais galets.

Absence de surface d'érosion.

0,35 m. : deux bancs de calcaire cristallin gris, taché de jaune et brun, ou gris-bleu foncé. Délit mince de marne feuilletée. Passage à 0,03 m de marne très calcaire avec des *L. obliqua* SOW., dont certaines en

position de vie ; débris coquilliers nombreux, moules internes de *Spiriferina* très petits, nombreux ; des nodules phosphatés roulés.

2,00 m. visibles (+?) : marne argileuse feuilletée, gris-jaune verdâtre, sableuse au toucher, dans laquelle je n'ai pu trouver aucun fossile, comme BRANDLIN. Par leur position, il paraît bien s'agir du Lotharingien argileux sous le « Calcaire ocreux ».

Nous notons donc ici des traces de mouvement épirogénique, peu accusées, à la base du « Calcaire ocreux », comme en Lorraine. S'il y a passage continu de ce dernier aux marnes superposées, celles-ci montrent des fossiles roulés, une sédimentation phosphatée. Vu la minceur de la série, il paraît impensable, sauf condensations zonales, que les zones de base du Pliensbachien (Carixien inférieur, zone à *U. Jamesoni-T. Ibex*) soient présentes. Il ne me semble pas avoir rencontré des véritables galets phosphatés. La lacune stratigraphique est donc difficilement décelable.

Nous pouvons donc distinguer ici les 0,63 m. inférieurs comme du Lotharingien dans les 1,60 m. calcaire et marno-calcaire de la première coupe observée ; dans celle-ci, nous avons pu voir au sommet des indices d'érosion au contact de la zone à *P. Davoei* et de la zone à *A. margaritatus*.

D'autre part, du côté Ouest de la vallée, de Obersulz à Sulzerberg, des nouveaux chemins ont dégagé les mêmes horizons géologiques, y compris ceux de la base de la série ; mais les affleurements sont moins nets et les coupes moins continues ; l'intérêt est donc plutôt cartographique.

### Conclusions

Cette coupe confirme les observations antérieures relatives à la puissance des formations, et certains détails lithologiques déjà établis.

Ainsi, l'extraordinaire réduction de puissance de la série Pliensbachien-Toarcien est confirmée. Cependant, certaines puissances trouvées par BRANDLIN ne sont pas exactement les mêmes ; il est vrai que la coupe fournie par cet auteur est prise en un autre endroit et des variations rapides de puissances sont possibles en pareille série. Des détails non encore signalés apportent des preuves irréfutables de mouvements épirogéniques, avec des surfaces érodées et formations conglomératiques.

La réduction de puissance des niveaux en cause est matérialisée, pour le Lias moyen, par les courbes de puissance (discutables et complétables sur la base des forages pétroliers dans la vallée du Rhin), du

travail de PRATJE. Avec une vingtaine de mètres au Nord de Colmar, l'horizon en cause passe à une dizaine de mètres entre Mulhouse et Bâle, décroît très rapidement au S.-E. pour tomber à moins de 2 mètres dans la partie Est du Jura septentrional, précisément en Argovie.

Le « Calcaire à *Pr. Davoei* » est daté sans hésitation possible au sommet du complexe calcaire. Malheureusement, il est impossible de prouver si le Carixien inférieur existe, ou s'il y a des lacunes stratigraphiques, chose probable. Les conditions d'affleurements s'opposent à des bonnes observations. Il faut cependant noter que, selon MOESCH, il y aurait des Ammonites du Carixien inférieur dans le Jura d'Argovie et de Frick (mais pas, selon BRANDLIN, dans cette dernière contrée). La série serait donc normale bien que peu épaisse. Quant au Lotharingien (Sinémurien terminal), avec le « Calcaire à *rivicostatum* », sa présence n'est pas prouvée par des Ammonites sur ma coupe ; elle est très probable ; d'ailleurs, MOESCH a signalé aussi des fossiles impliquant cet horizon. Il est possible qu'il existe des lacunes stratigraphiques et des concentrations de faunes car la base du calcaire est tachée de phosphate de chaux, qui ne forme pas des vrais galets, semble-t-il.

Tous ces faits, malgré les incertitudes de détail, prouvent une épirogénie active, avec au moins une sédimentation indigente, conséquence directe, depuis le Lotharingien. Un arrêt de sédimentation est prouvé à la fin de la zone à *Pr. Davoei*. Cette série montre maintes analogies avec celle étudiable en Lorraine, dans une autre région naturelle des terrains jurassiques.

On notera que la sédimentation semble bien continue entre le Toarcien et le Pliensbachien. La zone à *Dactylioceras semicelatum* n'a pas été identifiée ; cela est peut-être dû à un caractère peu fossilifère de cet horizon. Bien plus au Nord, en Souabe, dans les coupes naturelles de la région des gorges de la Wutach, mes observations anciennes n'avaient pas permis d'identifier la zone à *semicelatum*. Pourtant, celle-ci m'est apparue y exister, il y a près de huit ans, avec de très rares Ammonites indices de cette zone, si fossilifère par ailleurs en d'autres points de la Meso-Europe.

BIBLIOGRAPHIE

- BRANDLIN (Emil). — Zur Geologie des Nördlichen Aargauer Tafeljura zwischen Aare und Fricktal.  
Inaugural-Dissertation, Bâle, 1911, 96 pp., 1 carte, 3 tabl.
- ERNI (Arthur). — Das Rhät im schweizerischen Jura.  
*Eclogae geologicae helvetiae*, Vol. XI, N° 1, 1910, 54 pp.
- MOESCH (C.). — Geologische Beschreibung des Aargauer Jura und der nördlichen Gebiete des Kantons Zürich. Beiträge zur geol. Karte der Schweiz. IV Lief., 1867.
- PRATJE (Otto). — Die Juratransgression im Bereiche von Schwarzwald und Vogesen. Ein paläogeographische Studie der Rhät und Liasschichten.  
*Frankfurt a. M.*, 1924, 57 pp., 6 cartes.
- THEOBALD (N.), MAUBEUGE (P.L.). — Paléogéographie du Jurassique inférieur et moyen dans le Nord-Est de la France et le Sud-Ouest de l'Allemagne.  
*Bull. Soc. Hist. Nat. Freiburg i. Breisgau*, 1949, Bd 39, S. 249-320, 2 Taf., 3 Pl. h.-t.
-

## L'ACTION HYPOTENSIVE DE LA SALIVE CHEZ LE CHIEN \*

par

Dr ABDUL HABIB DEL \*\*

---

Nous exposons ici les observations faites sur le Chien après injection intraveineuse de salive.

La salive produit une hypotension immédiate et durable. L'animal est anesthésié par injection sous-cutanée de 2 mg de sulfate de Morphine, suivie trente minutes plus tard de l'injection intraveineuse d'une solution à 10 % de chloralose dans le polyéthylène glycol, à raison de 70 mg/kg. Le Chien s'endort en une vingtaine de minutes.

La veine fémorale est dénudée et une canule y est mise en place pour la relier à une burette destinée à l'administration de la salive.

L'animal est mis sous respiration artificielle.

L'une des carotides est reliée à un manomètre à mercure. Une injection intraveineuse de manuronate à la dose de 10 mg/kg est en général pratiquée pour prévenir la formation de caillot.

La tonicité vasculaire est vérifiée à l'aide du Levartéréinol à la dose de 3  $\gamma$ /kg, et du Phosphate d'Histamine à la dose de 1  $\gamma$ /kg.

L'expérience a été renouvelée sur cinquante Chiens bâtards pesant 8 à 20 kg. L'injection de 1 à 2 ml de salive humaine ou du Chien en expérience ou d'autres chiens produit une hypotension de 30 à 40 mm de mercure se maintenant longtemps (Fig. 1).

L'expérience est renouvelée sur des chiens dont on a élevé artificiellement la pression artérielle par injection intraveineuse de 750 à

---

\* Présentée par M<sup>lle</sup> S. BESSON à la séance du 11 mars 1965.

\*\* Professeur de Pharmacologie à la Faculté de Médecine de Kaboul.

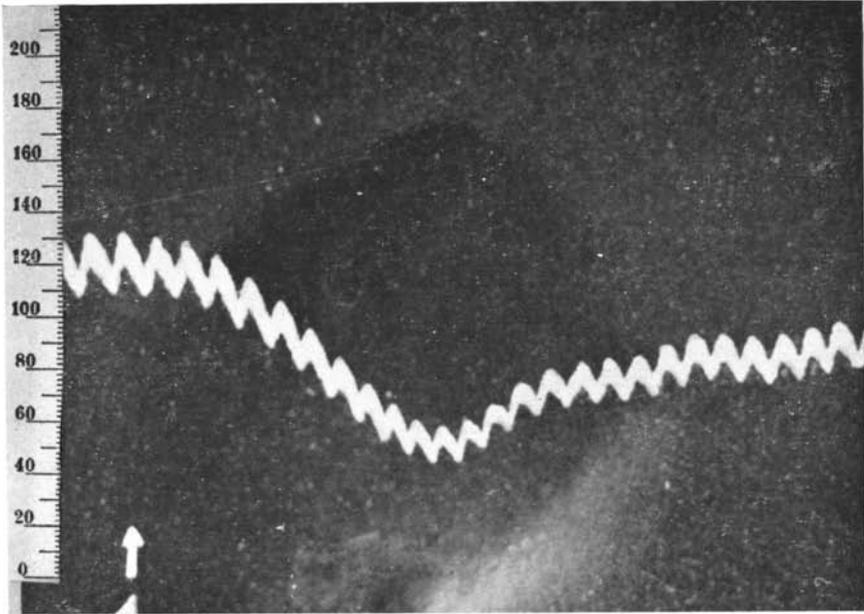


FIGURE 1. — Hypotension chez le chien normal.

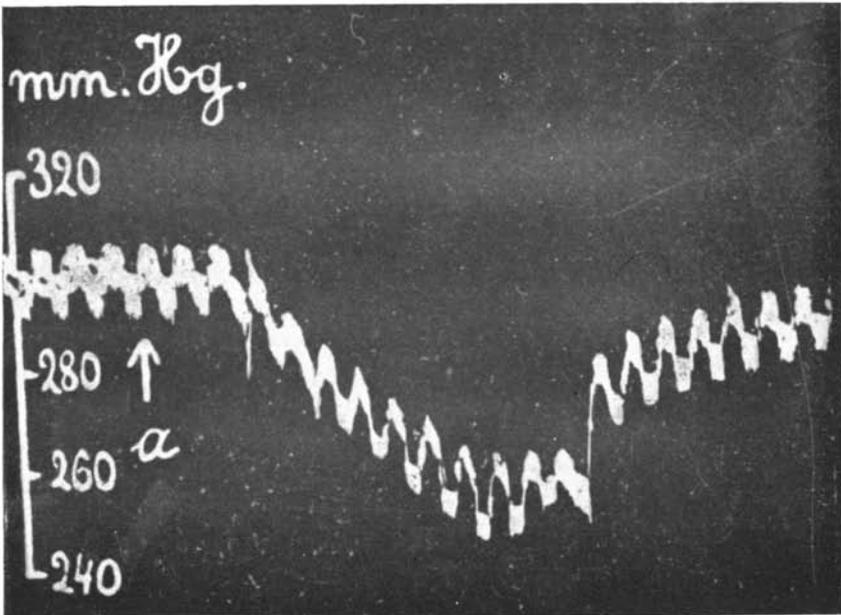


FIGURE 2. — Hypotension chez le chien hypertendu.

1.000 ml de solution de gélose à 6 %. Cette hypertension de 250 à 300 mm est abaissée de 50 à 60 mm sous l'influence de la salive (Fig. 2).

Chez les Chiens à pression normale, le rythme cardiaque est légèrement augmenté par la salive. Chez les Chiens dont la pression artérielle a été élevée, le rythme cardiaque devenu plus rapide a retrouvé sa valeur normale.

L'hypotension créée par la salive n'est pas abolie par la dénervation du train postérieur du Chien, ni par la section de la moëlle au niveau C<sup>2</sup> C<sup>3</sup> L.

Une publication récente (\*) consacrée à l'activité kininasique de la salive nous laisse à penser que l'action hypotensive de la salive doit être rapportée à cet enzyme. Celui-ci libérerait rapidement la bradykinie du sang qui, elle, est douée de propriétés vasodilatatrices.

---

(\*) E. AMUNDSEN, K. NUSTAD. — Kininase activity of human saliva.  
*Nature*, 1964, **201**, 1226.

---

# ENERGIE ET MATIERE (\*)

par

Jean PELTIER

---

## Contribution à l'étude des propriétés de la matière

En vous proposant ce sujet de conférence, je veux essayer de résumer et regrouper un certain nombre de propriétés déjà connues et, si possible, en faire apparaître de nouvelles.

Pour réaliser un bon reportage, il me faudrait pénétrer au sein des atomes et accomplir un slalom fantastique parmi les nucléons, les électrons, et autres constituants. Il me faudrait suivre l'évolution de ces groupements tantôt stables, tantôt instables, qui déconcertent les physiciens. Au cours de ce slalom, je ne pourrai éviter tous les obstacles..., ce qui me fera parfois dévier de la trajectoire que j'aurais voulu suivre et je ne pourrais que me tenir entre la Science et l'Hypothèse ! Veuillez m'en excuser.

## Extraits du Vocabulaire de l'Energie Atomique

Parmi les nombreuses définitions normalisées selon la référence M- 60-001, je dois en retenir au moins quelques-unes, afin d'essayer d'éviter des erreurs de terminologie trop criantes.

### PARTICULE ÉLÉMENTAIRE ET PARTICULE FONDAMENTALE :

Ces deux expressions sont synonymes et signifient : *Particule actuellement considérée comme une entité simple non dissociable, par opposition à celles qui sont considérées comme des assemblages.*

---

(\*) Note communiquée à la séance du 11 mars 1965.

**PARTICULE RELATIVISTE :**

Particule dont la vitesse est une fraction notable de celle de la lumière.

**RAYONNEMENT DE CÉRENKOV :**

Rayonnement lumineux produit lorsqu'une particule chargée traverse un milieu transparent avec une vitesse supérieure à celle de la lumière en ce milieu.

**RAYONNEMENT COSMIQUE :**

Ensemble comprenant des particules de grande énergie, d'origine extra-terrestre, et les gerbes que ces particules engendrent dans l'atmosphère.

### **Relations sensorielles**

C'est, notamment, grâce à la valeur de ses qualités sensorielles que l'homme est informé d'un certain nombre de phénomènes dont le siège se trouve en lui-même ou hors de lui ; parfois très loin de lui.

Nos relations extérieures sont réalisées, notamment grâce à des messages sonores et à des messages lumineux... et il est certain que d'autres messages nous échappent, en raison de notre inaptitude à les percevoir (ouïe-sons par exemple).

Grâce à son Intelligence, l'homme a su créer des appareils qui détectent pour nous et augmentent nos possibilités.

Qui sait si une lente évolution ne rendra pas l'homme de demain plus apte à la vie « cosmique ».

### **Ouverture sur le cosmos**

L'Homme, que Blaise PASCAL comparait à un roseau pensant, pourrait encore être comparé à un « missile » pour qui le « compte à rebours » commence avec la Vie.

### **Le vertige des nombres**

Avant d'aborder ce que nous pourrions appeler *les grands nombres*, je resterai quelques instants « terre à terre », en vous rappelant que :

Si vous voyagez, en voiture ou dans un train, roulant à 108 km/h, votre vitesse est 30 m/s, mais en avion, avant même d'atteindre « MACH I », votre allure est déjà dix fois plus rapide.

Au voisinage de l'équateur, tout point attaché au sol se déplace à une vitesse voisine de 460 m/s (dans la rotation de notre planète autour de son axe).

D'autre part, notre planète (dans son mouvement de rotation autour du soleil) se déplace à la vitesse moyenne de 100.000 km/h. Elle nous entraîne à cette vive allure sans même que nous ne nous en apercevions.

Considérons maintenant la « fuite des mondes » ou plus correctement « *la récession des galaxies* ». Selon la loi de HUBBLE, la vitesse « de fuite » est d'autant plus grande que les galaxies sont plus lointaines. Les galaxies lointaines peuvent, dès maintenant, être considérées comme des amas de *particules relativistes*.

### **Le nombre d'Avogadro**

Sa valeur...  $(6,022\ 95 \pm 0,000\ 16) \cdot 10^{23}$  laisse rêveur, et cependant, elle n'est contestée par personne. Un très simple calcul arithmétique nous permet d'en déduire que : si vous disposiez d'une machine capable de compter à raison de 1.000 par seconde, les molécules contenues dans UNE MOLE, le temps nécessaire pourrait être chiffré en milliards de siècles.

Un autre calcul aussi simple vous montrerait que le nombre de molécules restant dans un décimètre cube de gaz à la température de 0 (sur l'échelle CELSIUS) et après avoir fait un vide presque « parfait », ce nombre de molécules serait encore fabuleux. Avec une pression résiduelle d'un dix milliardième d'atmosphère, le nombre cherché serait de l'ordre de grandeur de *trois mille milliards de molécules*.

### **Les précurseurs de la relativité**

Si une horloge avance ou retarde continuellement et d'une façon régulière, elle nous semble cependant exacte... du moins en supposant que nos observations portent sur une assez courte durée — ou que nos moyens de mesure soient imparfaits... mais elle ne résistera pas à *l'épreuve du temps*.

A son origine, la loi de NEWTON sur la gravitation universelle n'a été contestée par personne. Ne permettait-elle pas de calculer très exactement les trajectoires des planètes et même des comètes, et de prévoir les éclipses avec une précision étonnante ?

Mais deux siècles plus tard, après l'épreuve du temps, les astronomes ont constaté avec inquiétude que le périhélie de la planète Mercure se déplaçait *de 43 secondes d'arc par siècle*.

Terrible inquiétude.

Inquiétude aussi chez les physiciens qui furent déconcertés par l'expérience de MICHELSON (1895) — mettant en cause (?) les lois de la mécanique classique et en particulier celles de la composition des vitesses (car MICHELSON n'observa pas le déplacement des franges d'interférence que la théorie laissait prévoir).

A peu près à la même époque, LORENTZ (1853-1928), après une analyse approfondie de la notion de longueur, établit des formules qui portent son nom — formules relatives à la *contraction apparente des longueurs* dans le sens de leur mouvement. Ces contractions étant fonction du quotient  $v/c$  de la vitesse relative de l'objet considéré et de la vitesse de la lumière, sont donc extrêmement faibles aux allures usuelles, c'est pourquoi elles ont pu rester longtemps inaperçues.

### Point matériel et point géométrique

C'est en raison des habitudes anciennes que je conserve encore, provisoirement, l'expression *point matériel*. Selon le vocabulaire officiel, je devrais écrire :

« *Particule élémentaire* et point géométrique ».

Considérons donc un point matériel, de masse  $m_0$ , lorsqu'il est seulement animé d'une vitesse d'entraînement ( $e$ ), et imprimons-lui une vitesse relative ( $v$ ).

Il serait illicite de composer, suivant les règles habituelles, des vecteurs tels que  $m \cdot e$  et  $m \cdot v$  et de prétendre en déduire une certaine quantité de mouvement pour la particule élémentaire, dont la vitesse absolue peut cependant avoir la valeur  $V$  (résultant des composantes). En effet, la formule d'EINSTEIN donne :

$$(1).... \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

montrant que le tracé graphique habituel ne peut que représenter (au facteur  $m_0$  près) *la composition cartésienne des vitesses pour un point géométrique qui serait toujours en coïncidence spatio-temporelle avec le point matériel choisi*.

### Minkowski, Einstein et l'intervalle d'univers

MINKOWSKI (1864-1909) introduisit la notion d'intervalle d'univers ( $s$ ), et EINSTEIN reprit cette notion, par laquelle le temps apparaîtra dans les calculs, sous forme d'une quatrième dimension ( $t$ ).

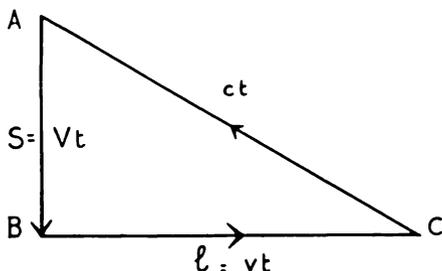
Soient deux événements A et B, séparés par une distance spatiale ( $l$ ) et par une distance temporelle ( $t$ ), les grandeurs  $l$  et  $t$  étant mesurées par un observateur O. D'après la relativité, les mesures  $l'$  et  $t'$  faites par un observateur O'... celles  $l''$  et  $t''$  faites par O'' ne seront pas les mêmes, et on appelle *intervalle d'univers pour les événements A et B, une grandeur ( $s$ ) qui doit être indépendante des observateurs.*

L'intervalle d'univers est défini par :

$$(2) \dots \quad s^2 = c^2 t^2 - l^2$$

La figure (1), donnée ci-après, situe *un couple d'événements A et B dans le temps*. On voit que ( $ct$ ) est l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit sont respectivement :

La distance spatiale ( $l$ ),  
L'intervalle relativiste ( $s$ ).



A titre d'exemple concret, imaginons que l'événement A se soit produit à l'instant initial  $t = 0$  et qu'il constitue la coïncidence spatio-temporelle d'un point géométrique fixe (dans l'espace absolu) et d'un point matériel participant à la translation de notre galaxie. Soit donc ( $v$ ) la vitesse d'entraînement correspondante.

Imaginons d'autre part que l'événement B se soit produit à l'instant ( $t$ ) et qu'il situe la coïncidence spatio-temporelle d'un autre point géométrique absolument fixe et du point matériel déjà considéré.

Dans ces conditions,  $s = V t$  représente le déplacement absolu du point réel :  $l = v t$  son déplacement relatif ; et finalement  $ct$  joue le rôle de déplacement dans le mouvement d'entraînement.

Ayant raisonné sur un point matériel participant à la translation ( $e$ ) de notre galaxie, il nous reste à conclure *que tout se passe comme si notre galaxie était animée d'une translation* (réelle ou imaginaire) ou d'un mouvement d'entraînement de valeur  $e = c$ .

### Conséquences

La mesure (absolue) de la quantité de mouvement de toute particule élémentaire est une constante

$$(3).... \quad k = m_0 c = m V = \text{etc...}$$

### Corollaire

Cette constante est universelle, c'est-à-dire qu'elle a une valeur indépendante du temps et du lieu, à partir de la « naissance de la particule ».

### Hypothèse

Lors de sa création, toute particule élémentaire — qui équivaut à une valeur d'impulsion initiale  $k_0 = k$  doit être animée d'une vitesse absolue  $V_0$  très grande (et de beaucoup supérieure à  $(c)$ , puisque sa masse est inapparente et ne peut être mesurée .

### Dynamique des particules élémentaires

La différentielle de l'Energie est habituellement exprimée par la formule :

$$(4).... \quad dE = m V dV$$

et en tenant compte de (3)

$$(5).... \quad dE = k dV$$

L'énergie totale s'obtient immédiatement par intégration entre les limites 0 et  $c$ .

$$(6).... \quad E = m_0 c^2.$$

C'est la célèbre formule d'EINSTEIN.

### Doublets de particules élémentaires

Je désignerai ainsi, ou éventuellement par simplification, *doublets élémentaires*, toute association simple comportant deux particules élémentaires.

La formation d'un *doublet élémentaire* peut évidemment provenir de :

*L'association* de deux particules fondamentales, probablement par percussion,

*L'éclatement* d'un doublet élémentaire déjà existant, suivi de la formation d'un nouveau doublet (il semble que ce phénomène peut être provoqué par la collision entre doublets ou entre doublets et particules élémentaires).

### **Hiérarchie particulaire**

J'espère que cette expression étrange pourra permettre de mieux comprendre ma pensée.

Pour les particules fondamentales, le plus haut sommet de la hiérarchie correspondra aux particules les plus rapides (en vitesse absolue), c'est-à-dire aux particules douées d'une inertie minimale.

Pour les doublets, le sommet correspondra à l'énergie maximale, celle-ci comprenant deux termes :

L'énergie de *translation* et l'énergie de *rotation*.

J'ai le sentiment que l'accroissement d'inertie provoqué généralement par diverses percussions est un phénomène comparable à l'accroissement de l'ENTROPIE en thermo-dynamique.

J'ai parlé tout à l'heure de *hiérarchie particulaire*.

Je reprends cette notion nouvelle et je souhaiterais pouvoir consacrer à son développement de nombreuses heures de travail — mais le temps s'écoule si vite, inexorablement. Que ce soit le temps réel (temps absolu, abstraction mathématique) ou le temps relatif, le temps dont nous disposons est limité, comme je le disais tout à l'heure — puisque pour chacun de nous, le « compte à rebours » est commencé à l'heure H de notre naissance.

Je voudrais pouvoir réaliser de nombreuses expériences et de nombreux calculs, en vue d'étudier les lois de la Nature — qui doivent probablement compléter et prolonger à l'échelle de l'atome, les anciennes lois de VANT'T HOFF (1852-1911) et nous donner une idée nouvelle sur les déplacements d'équilibre.

Je voudrais pouvoir étudier spécialement les chocs entre particules (particules fondamentales percutant entre elles ou avec des doublets) ainsi que les percussions de doublets entre eux.

Il y a lieu d'envisager deux hypothèses fondamentales : si les écarts de vitesses, ou les écarts d'énergie des particules en impact est assez faible, tout doit se passer comme si nous avions *des chocs élastiques*.

Selon la seconde hypothèse, à partir d'un certain seuil (portant sur des écarts de vitesses ou des écarts d'énergie importants), nous aurons *des éclatements de doublets* avec libération d'énergie (ou plus exactement récupération de ce qui était énergie cinétique de rotation). Les particules fondamentales qui avaient donné naissance au doublet verront s'accroître leur propre énergie cinétique de translation. Chacune de ces particules sera évidemment apte à provoquer l'éclatement d'un nouveau doublet (phénomène comparable à la fission).

A la limite, entre les deux hypothèses, doivent apparaître les *phénomènes d'attraction moléculaires*.

### **Energie particulaire**

Les expressions consacrées par l'usage, pour désigner l'énergie libérée à l'intérieur des atomes sous certaines conditions, sont : *énergie atomique* ou encore *énergie nucléaire*.

Une autre expression me plairait particulièrement, ce serait : ÉNERGIE PARTICULAIRE, sur laquelle nous avons donné quelques notions dans la première partie de cet exposé.

Pour les particules élémentaires, l'énergie est toujours donnée par la relation -- 6). Pour les doublets, l'énergie comporte généralement deux termes : le premier pour la translation (nous venons d'en rappeler la valeur), le second pour la rotation — li est évidemment fonction de la fréquence.

Rappelons ici la formule d'EINSTEIN et PLANCK :

$$(7)... \quad W = h \nu$$

dans laquelle W représente l'énergie, h la constante de PLANCK et  $\nu$  la fréquence.

### **Conclusion**

Les physiciens ont réussi par des moyens tantôt directs, tantôt indirects, à domestiquer l'atome, bien que ne le connaissant pas encore parfaitement. C'est un exploit dont le monde ne réalise qu'imparfaitement la portée.

L'atome, tel qu'il est conçu par le savant moderne, est un peu comme un bastion, une citadelle entourant ses réserves d'énergie, et les refusant à l'agresseur. C'est donc, guidé par son intuition, et par les résultats d'expériences antérieures, que le physicien « monte à l'assaut ». Assaut longtemps infructueux... parce que... autour du noyau se trouvaient non seulement des électrons, mais d'autres corpuscules insoupçonnés, empêchant les projectiles lancés par l'expérimentateur d'atteindre les nucléons dans leur retranchement. Ainsi, la conception de l'atome a dû évoluer et de nouveaux appareils ont été créés et mis en œuvre jusqu'à l'instant du succès. Mais, combien de corpuscules aux propriétés différentes sont dénombrés aujourd'hui ?

Ne croyez-vous pas, la Nature est plus simple — et peut-être moins pressée que l'expérimentateur humain ? Loin de moi l'idée de mettre en cause tout ce qui a été découvert. Loin de moi l'idée de discuter le nombre des corpuscules aux propriétés différentes qui ont été dénombrés... mais je me pose une grave question :

Les propriétés différentes des particules (et des doublets) ne résulteraient-elles pas tout simplement de leurs diverses vitesses (linéaire et angulaire) — c'est-à-dire des paramètres L, M, N, X, Y, Z.

Pour conclure, je me propose de vous présenter quelques idées nouvelles sur un « atome statistique »... à l'occasion d'une autre causerie.

---

## A PROPOS DES THEORIES DE LYSENKO (\*)

par

R. LIENHART

---

Un communiqué du journal russe « La Pravda » nous a appris, le 4 février 1965, que le Professeur et Académicien Trofim Dénissovitch LYSENKO venait d'être destitué de son poste de Directeur de l'Institut de génétique. Cette brusque destitution, assure-t-on, a été motivée par les sévères reproches que M. Keldych, Président de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., a adressés à LYSENKO, en l'accusant d'être responsable, par ses théories, du grave retard pris par son pays dans le domaine de la biologie nucléaire et de la génétique.

Bien entendu, dès que cette nouvelle fut connue, les chroniqueurs scientifiques de la Presse occidentale se sont hâtés de rendre compte, à leurs lecteurs habituels, de cet événement scientifique de haute importance.

D'une façon générale, ces chroniqueurs rendent un compte suffisant des causes qui ont conduit LYSENKO à sa brusque déchéance ; mais il m'a semblé qu'une argumentation strictement scientifique des faits qui lui sont reprochés, aurait sa place au sein de notre Société.

Pour situer clairement les faits qui répondent à ce que l'on pourrait nommer le cas LYSENKO, je ne crois pouvoir mieux faire que d'exposer, tout d'abord, la genèse et l'évolution des propres idées de LYSENKO, pour en analyser ensuite les conséquences, et éventuellement les erreurs.

Voyons d'abord les faits :

Tout a commencé, au début de ce siècle, bien avant la guerre de 1914-18, par les théories nées de pratiques empiriques d'un jardinier

---

(\*) Communication présentée à la séance du 11 mars 1965.

des parcs, jardins et vergers nationaux russes, au temps du Tsar Nicolas II. Ce jardinier, nommé Mitchourine, connaissait correctement la technique de son métier ; mais, comme il arrive assez souvent en pareil cas, sa formation, du point de vue des connaissances scientifiques générales et notamment relatives à la biologie végétale, laissait quelque peu à désirer.

Né en 1855, dans le gouvernement de Riazan, Ivan Vladimirovitch Mitchourine, avait eu, au cours de sa carrière, la possibilité de visiter à l'étranger, antérieurement à 1914, de nombreux et importants jardins. C'est ainsi, qu'ayant visité, à Versailles, l'ancien verger du Roi, devenu notre actuelle Ecole Nationale d'Horticulture, il fut particulièrement frappé par de très nombreuses variétés d'arbres fruitiers, multipliés par la technique des greffes.

De retour en Russie, Mitchourine parvint, en employant la méthode du greffage, à acclimater dans son pays plusieurs variétés d'arbres fruitiers qui, jusque là, y étaient totalement inconnus autrement que par l'importation de leurs fruits.

Bientôt, Mitchourine amplifia ses recherches d'acclimatation fruitières, notamment sur différentes variétés de pommiers. Par la greffe, il put multiplier quelques variations favorables, apparues sur les rameaux des arbres qu'il avait multipliés.

Imbu des doctrines de Lamarck, et croyant notamment à l'hérédité de nouveaux caractères acquis par le corps d'un sujet au cours de son existence, Mitchourine attribuait à la pratique du greffage les variétés nouvelles qu'il voyait apparaître. Pour augmenter les chances de ses succès, il pense pouvoir provoquer un ébranlement physiologique utile des végétaux sur lesquels il expérimente en recourant à l'hybridation préalable des rameaux qu'il greffe. Greffe et hybridation furent donc ses deux techniques horticoles favorites, et ce sont elles qui lui donnèrent le plus grand nombre de variétés nouvelles, qu'il s'empessa de multiplier, soit par boutures, soit par greffes.

En inversant la technique habituelle de la greffe, c'est-à-dire en greffant un sujet vigoureux sur un porte-greffe faible, il croit alors créer des variétés nouvelles qu'il nomme : *Hybrides végétatifs*, obtenus, cette fois, sans croisement et par conséquent, sans aucun mélange de cellules sexuelles. Mitchourine prétend que les hybrides végétatifs, ainsi créés, sont des formes nouvelles et héréditairement stables.

A première vue, le jardinier Mitchourine paraît être sincère dans ses opérations culturales. En sera-t-il toujours de même ? Les premiers résultats qu'il obtient sont exacts, mais il les interprète d'une façon totalement erronée, sans en comprendre les véritables causes. Et cela,

avec un entêtement tel qu'il ne se doute pas que son entêtement va bientôt faire de lui un chef d'École.

Après la Révolution russe, le nouveau gouvernement, soucieux de produire, en très grand nombre des fruits et des légumes frais nécessaires à l'alimentation, s'intéresse tout particulièrement aux travaux de Mitchourine. Et ce dernier rapidement pris en mains par un jeune agronome soviétique du nom de LYSSSENKO, se sent grisé, on le serait à moins, par sa subite ascension. Et il adapte, bien volontiers, ses propres conceptions horticoles à la nouvelle idéologie de son pays. Mitchourine reçoit, alors, le titre d'agronome, il est fait membre d'honneur de l'Académie des Sciences d'U.R.S.S., et quelque temps avant sa mort, qui survint en 1935, il publie, avec l'aide évidente de LYSSSENKO, quelques ouvrages, dont en 1934 : « Le bilan de son activité dans le domaine de l'hybridation et de la culture fruitière » ; et, en 1936, une œuvre posthume ayant pour titre : « Bilan de soixante années de travaux ».

Trofim Denissovitch LYSSSENKO est né en 1898 en Ukraine. Il fit ses études agronomiques, à partir de 1913, à l'Institut d'Agriculture de Poltava. Après la première guerre mondiale, de 1921 à 1928, il se perfectionne et exerce successivement des fonctions, à Umansk, Kiew, et au Caucase. A cette époque, il met au point un procédé de culture déjà connu en Europe, la vernalisation, nommée encore printanisation, de certains végétaux. Ce procédé consiste à faire germer, à basse température, des graines, principalement de céréales, en les maintenant dans un milieu humide et froid et, dès qu'elles commencent à germer, à les placer jusqu'à utilisation dans un milieu constamment frais et ne dépassant pas dix degrés centigrades. LYSSSENKO réussit ainsi, par exemple, à transformer, dit-il, d'une façon définitive et par conséquent héréditaire des blés d'automne et d'hiver en blés de printemps ou encore des blés durs en blés tendres.

C'est alors, que fort des premiers résultats qu'il pense ou prétend avoir obtenus, LYSSSENKO épousant les théories de Mitchourine exerce son emprise sur ce dernier et l'utilise habilement pour mieux frayer son propre chemin dans la science soviétique.

Pénétré, lui aussi, de l'excellence de toutes les théories Lamarckiennes, LYSSSENKO se lance dans de violentes attaques contre la génétique classique dont l'esprit bourgeois, qui anime les Mendel, Morgan, et autres généticiens occidentaux, est, dit-il, incompatible avec les doctrines matérialistes qui doivent permettre à l'homme de modifier la nature à son gré.

Sans nous arrêter à cette ingérence inattendue de la politique dans le domaine de la science, constatons simplement que LYSSSENKO reprend

alors, en les amplifiant, les théories de Mitchourine qui, comme nous l'avons vu, sont essentiellement basées sur un ébranlement physiologique nécessaire provoqué chez les végétaux d'expérience, pour leur en faire produire de nouvelles variétés stables.

Pour obtenir ces résultats, LYSENKO recourt, comme l'a fait Mitchourine, à la méthode des greffes simples, et de greffes entre hybrides. C'est ainsi qu'il produit, par simple hybridation cette fois, des hybrides, blé x seigle, et blé x chiendent, qui permettent de cultiver les plantes obtenues dans des terres particulièrement pauvres. Des expériences de même style le conduisent à créer des vergers et des potagers, même au nord du cercle polaire ?

Par ces réalisations spectaculaires, LYSENKO, soutenu par le gouvernement et notamment par Staline alors tout puissant, acquiert une autorité scientifique de plus en plus grande. Dès 1937, un an après la mort de Mitchourine, il devient député au Soviet suprême, et bientôt il est fait Président de l'Académie d'Agronomie, puis membre de l'Académie des Sciences et Directeur de l'Institut de Génétique. LYSENKO, alors à l'apogée de sa gloire, reçoit de très nombreuses distinctions honorifiques pour le récompenser de ses prouesses de techniques agricoles, qu'il doit, en réalité, au patient travail d'observation, mais aussi aux erreurs d'interprétations de Mitchourine.

Devenu tout puissant lui aussi, LYSENKO n'admet plus, autour de lui, ni contradictions ni critiques. Et, ceux des généticiens d'U.R.S.S. qui osent élever la voix contre les théories du Maître ne tardent pas à sentir, parfois même par l'emprisonnement, ou une déportation se terminant par la mort, les conséquences de leur audace.

C'est en 1948, au cours d'une mémorable session de l'Académie Russe d'Agronomie, que LYSENKO fait connaître publiquement ses théories et ses méthodes de travail, sans admettre, bien entendu, qu'au cours d'un pseudo-débat, les voix de contradicteurs puissent s'élever.

En 1953, à la mort de Staline, les choses paraissent devoir se gêner pour le chef de la science biologique soviétique. Et, pour un court instant, le silence règne autour de LYSENKO. En Occident, quelques bons esprits scientifiques, tels que Julian Huxley et même le professeur à la Sorbonne Marcel Prenant, de conviction marxiste, croyant le cauchemar scientifique définitivement dissipé en U.R.S.S., jugent, avec objectivité l'œuvre de LYSENKO, comme elle le mérite.

Mais bientôt, l'habile agronome russe va réussir à faire un prodigieux rétablissement. En effet, au courant de l'intérêt particulier que le successeur de Staline, M. Kroutchtchev, porte à la culture du maïs, LYSENKO se fait fort de lui donner satisfaction. Pour ce faire, il transpose

à son propre compte les sensationnelles découvertes américaines faites sur les maïs hybrides. Et c'est ainsi que LYSENKO réussit à rentrer totalement en grâce. Redevenu Grand Agronome, il reçoit de nouvelles distinctions. Mais ce regain de gloire ne devait pas durer. Dès la récente chute de M. Kroutchtchev, des voix scientifiques, enfin délivrées d'un silence imposé, se font entendre et aboutissent, au début du mois de février 1965, sous les légitimes reproches formulés par le Président de l'Académie des Sciences d'U. R. S. S. à provoquer la chute de LYSENKO, que nous avons tout lieu de croire devoir être, cette fois, définitive.

Nous allons maintenant, pour suivre notre plan, aborder l'analyse critique des faits principaux précédemment rapportés.

Tout d'abord, il convient de faire remarquer que Mitchourine, aussi bien que LYSENKO, sont des Lamarckiens convaincus, et qu'ils admettent, de ce fait, la conception erronée de l'hérédité des caractères acquis par le corps d'un être vivant au cours de son existence. Je dis, conception erronée, parce que la presque totalité des biologistes, s'appuyant sur les travaux que Weismann nous a fait connaître dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle, et en conclusion desquels, il admet qu'il existe une indépendance totale entre le *soma*, ou corps des êtres vivants, et le *germen*, ensemble des cellules sexuelles de ces mêmes êtres sont d'accord avec lui. Si, l'acceptation de cette idée Weismannienne, fondamentale pour la biologie de la reproduction des êtres sexués, n'a été admise que par étapes successives, elle s'est néanmoins rapidement imposée par de multiples expériences très démonstratives.

Il me paraît équitable de rappeler à ce propos que, parmi les premiers savants qui ont adopté l'opinion de Weismann, Lucien Cuénot se montra un des plus ardents propagandistes. A différentes reprises, et dès 1910 dans la première édition de sa « Genèse des Espèces Animales », il répète les propres paroles de Weismann et précise que l'on ne voit pas très bien comment un caractère somatique acquis, sous une influence extérieure, pourrait s'inscrire, précisément à la bonne place, dans les multiples loci du patrimoine héréditaire d'un sujet somatiquement modifié par le milieu ou par l'usage. Aujourd'hui, on pourrait ajouter que, bien que la biochimie nous ait fait considérablement progresser dans la connaissance structurale et potentielle des gènes, il ne nous est pas davantage possible de comprendre comment une perturbation physiologique et morphologique d'un être vivant puisse, en temps opportun et à l'endroit voulu, s'inscrire dans le germen de cet être.

Le mitchourinisme, qui doit son nom à l'association Mitchourine-Lysenko, et qui admet l'hérédité des caractères acquis par le soma, est donc une théorie fondamentalement lamarckienne. Mais, il convient

de remarquer que le mitchourinisme diffère cependant du lamarckisme classique par quelques points importants. Alors que Lamarck concevait une inscription lente, au cours des générations successives d'un être modifié par le milieu ; les mitchouriniens admettent la possibilité d'une inscription immédiate de ce nouveau caractère ; grâce à ce qu'ils nomment un ébranlement ou choc physiologique provoqué. Ce choc déterminant un déséquilibre immédiat de la constitution héréditaire qu'ils situent non pas spécialement dans les chromosomes, mais dans toutes les cellules du corps. Pour eux, le patrimoine héréditaire n'est pas figuré, mais diffus ! La connaissance de ces différents points de vue est essentielle pour bien comprendre la doctrine mitchourinienne, ainsi que les erreurs commises en son nom.

### **Analyse critique des expériences de Mitchourine**

Pour produire des formes végétales nouvelles, Mitchourine, nous l'avons vu, a principalement recours à la greffe et à l'hybridation. C'est par ces procédés cultureux, employés isolément ou en association, qu'il pense agir, à la fois, sur le corps et sur les éléments reproducteurs des sujets sur lesquels il expérimente. En ce qui concerne la greffe d'une partie d'un sujet A, sur un sujet B, il pense que la simple action réciproque du porte-greffe sur le greffon, ou inversement, va suffire pour produire des espèces nouvelles. Bien entendu, il ignore, ou veut ignorer, qu'à part de très rares exceptions, les phytophysiologistes n'ont jamais observé, avec certitude, d'interaction importante entre porte-greffe et greffon. Il n'en reste pas moins vrai, et ce phénomène est bien connu des arboriculteurs, qu'un porte-greffe adapté à une certaine nature de sol, fait bénéficier un greffon, dont le pied mère aurait d'autres exigences, de ses propres qualités adaptatives. Des exemples d'un tel phénomène sont connus. Je n'en citerai ici qu'un seul parce qu'il est assez démonstratif. Vers le dernier tiers du 19<sup>e</sup> siècle, des pins Laricio de Corse furent greffés sur des pins Sylvestres par le forestier Boisd'hyver, en forêt de Fontainebleau. Ces pins, que j'ai vus il y a quelques années très vigoureux, existent-ils encore ? Il faut le souhaiter, car ils sont le témoignage d'une très intéressante opération culturale forestière.

En outre, Mitchourine, jardinier de métier, devait certainement savoir ce qu'en horticulture on nomme « sports », c'est-à-dire l'apparition soudaine d'un rameau, au niveau d'un bourgeon, présentant des caractères nouveaux pour la plante qui le porte.

On sait, aujourd'hui, que ce phénomène que l'on considère comme une mutation somatique survenue au niveau d'un bourgeon n'est très vraisemblablement que la conséquence d'une anomalie de mitose. Les

sports sont particulièrement fréquents chez certaines plantes horticoles, telles que les dahlias, les chrysanthèmes, et autres plantes cultivées en grandes séries. Mitchourine a-t-il volontairement ignoré la signification des sports, ou l'ignorait-il réellement ? Ce qui est certains c'est qu'il attribuait leur origine à un ébranlement physiologique du végétal, provoqué par la greffe.

N'obtenant pas, à son gré, suffisamment de formes nouvelles par la simple greffe, Mitchourine eut recours à l'hybridation. Ce sont, désormais, des hybrides préfabriqués par lui qu'il va greffer entre eux. Et, dès lors l'apparition de sports nouveaux se multiplie ! Bien entendu, Mitchourine rapporte à la nature hybride de ses sujets d'expériences le choc nécessaire à l'apparition de formes nouvelles. Il ignore sans doute, du moins on veut le penser, que les sports apparaissent généralement, sinon toujours, sur des végétaux de constitution patrimoniale hybride. C'est également avec les semences récoltées sur des sujets hybrides qu'il réussit, par voie de semis, à produire des variétés nouvelles. Mitchourine, résolument hostile aux lois de Mendel, s'entête à méconnaître le phénomène de disjonction de caractères temporairement réunis dans le patrimoine héréditaire de sujets hybrides. Et, évidemment sans s'en douter, il commet la même erreur que le savant botaniste hollandais de Vries qui, créateur de la notion de mutation, a cependant pris pour telles, les nombreuses et nouvelles formes végétales nées du semis des graines de son célèbre *Œnothère de Lamarck*, qui était lui-même, on le sait aujourd'hui, une indéniable forme hybride.

Enfin, Mitchourine, par de simples greffes, dont les éléments, contrairement à l'habitude, sont par lui volontairement interpolés, sans qu'il se soit autrement soucié de la pureté génétique de ces éléments, obtient de nouveaux types qu'il considère comme étant les produits de ce qu'il nomme une *hybridation végétative*. Peut-être aussi, y a-t-il là, je dis peut-être parce que des documents très précis nous manquent, un phénomène analogue à celui qui semble avoir été obtenu par le botaniste Maurice Stroun, de l'Université de Genève, qui en greffant entre elles différentes variétés d'aubergines, évidemment hybrides et encore mal fixées comme le sont presque toutes nos variétés de plantes potagères, notamment les Solanées, a produit des échanges de sucres entre portes-greffe et greffons ; suffisants cependant pour intervertir les dominances habituelles des caractères inscrits dans le patrimoine héréditaire de plantes hybrides.

### Les travaux de Lyssenko

Nous avons vu que l'attention avait été attirée sur LYSSENKO par ses recherches d'application et de mise au point d'un phénomène déjà

connu : la vernalisation. Or, la vernalisation fut non seulement connue bien avant lui, mais aussi, dans la nature, nous en trouvons des exemples chez certaines plantes propres aux hautes montagnes. Tel est le cas des graines de la Grande Gentiane jaune, si répandue sur les sommets granitiques de nos Vosges. En effet, ces graines ne peuvent germer que si elles ont passé l'hiver sous la neige. Privées de ce séjour en milieu froid et humide, elles restent incapables de se développer. Le professeur Favarger, de l'Université de Neuchâtel (Suisse), a fait au sujet de ce phénomène des expériences très démonstratives.

Que faut-il donc penser des recherches de LYSENKO à ce sujet ? LYSENKO prétend que par la vernalisation, il est parvenu à transformer des blés de printemps en blés d'hiver et plus miraculeusement encore des blés tendres en blés durs. En ce qui concerne la première expérience, qui n'apporte rien d'essentiellement nouveau, il se peut qu'une sélection inconsciente, au cours de l'opération, ait éliminé les grains non adaptés ? En effet, on comprend mal que par la seule vernalisation, les nouveaux caractères acquis par une simple action extérieure soient devenus héréditaires. Quant à la transformation par vernalisation du blé *durum*, à 28 chromosomes, en plusieurs variétés de blés tendres à 42 chromosomes, elle semble relever du domaine de la pure fantaisie. Là encore, il se peut qu'une faute de sélection soit intervenue, ou plus simplement une fraude voulue ; ce qui paraît être assez fréquent au cours des expériences de LYSENKO. En effet, Darlington, en 1947, critiquant les travaux du généticien soviétique, nous dit explicitement : « Pour obtenir le succès, LYSENKO n'hésite pas, dans ses expériences, à utiliser des souches non contrôlées et vraisemblablement mélangées. Il omet d'utiliser des témoins, et néglige, totalement, les épreuves statistiques ».

A partir du moment où LYSENKO prend Mitchourine sous sa protection, il est bien décidé, en le faisant couvrir d'honneur, à l'utiliser pour son propre compte, en donnant, le cas échéant, les coups de pouce nécessaires. Toutes les expériences de LYSENKO sont, en effet, basées, comme celles de Mitchourine, sur les méthodes de greffe et d'hybridation. Ses hybrides de blés et de chiendent donnent réellement des plantes adaptées aux terrains pauvres ; mais il ne s'agit pas là d'une découverte récente et personnelle. Déjà, en 1847, l'ancien Doyen de la Faculté des Sciences de Nancy, Godron, qui, en collaborant avec Naudin et en reprenant les expériences de ce chercheur, avait réalisé des hybrides entre blé et *ægilops* qui, montrant une luxuriance particulière due à l'hétérosis, étaient préadaptés à prospérer dans des sols où le blé pur se serait trouvé en de très mauvaises conditions. Vous pouvez lire les captivantes études de Godron, auxquelles je fait ici allusion, dans les tomes de 1848, et de 1853, des « Mémoires de l'Académie de Stanislas » de Nancy.

D'autre part, les expériences de LYSSENKO faites en vue de démontrer l'exactitude de l'hybridation végétative en donnant naissance à de nouvelles variétés de tomates, à la suite d'intergreffes, sont dues, elles aussi, à un contrôle superficiel et à l'impureté de la valeur génétique du matériel employé. Crane, en Grande-Bretagne, reprenant les expériences de LYSSENKO sur les tomates, l'a clairement démontré.

Mitchourine, comme LYSSENKO, n'ont obtenu les résultats spectaculaires que nous connaissons et qui relèvent tous de la doctrine scientifique connue, aujourd'hui, sous le nom de mitchourinisme, que parce qu'ils ont volontairement ignoré les faits expérimentaux révélés par les lois de Mendel. Si ils avaient voulu en pénétrer le sens, ils auraient compris que la méconnaissance de la loi de la disjonction des caractères, à elle seule, pouvait, au cours de leurs expériences, provoquer les plus graves erreurs d'interprétation des résultats obtenus. On ne doit pas oublier aussi, qu'à l'époque de sa plus grande gloire, LYSSENKO était loin d'obtenir la totalité des suffrages des savants soviétiques. Nombreux étaient ceux qui se rendaient compte de ses très graves irrégularités expérimentales. Mais, par crainte de représailles, ils n'osaient pas parler. Quelques imprudents ont, d'ailleurs, payé très cher leur audace.

On est en droit de se demander comment et pourquoi les théories de LYSSENKO ont obtenu le succès que l'on sait. De toute évidence, LYSSENKO, habile manipulateur, était non moins habile à manier les hommes. Sans l'appui de Staline, puis celui de Kroutchtchev, qui tous deux se trouvaient dans la nécessité d'intensifier le rendement agricole de leur pays, jamais, vraisemblablement, nous n'aurions entendu parler de LYSSENKO, ni de ses trop fameuses théories.

LYSSENKO, chose surprenante, n'eut pas seulement des adeptes en U. R. S. S. L'Occident en a compté, lui aussi, quelques-uns et en compte encore ! Aussi, sommes-nous en droit de nous demander ce que pensent aujourd'hui, ces mitchouriniens irréductibles, et notamment ceux qui, obnubilés par les travaux de quelques savants soviétiques inféodés, à coup sûr, aux méthodes scientifiques de LYSSENKO, ont repris, pour leur propre compte, les expériences d'injections de sangs étrangers à certains oiseaux, dans l'espoir de déterminer chez ces derniers, sous l'influence d'un choc provoqué, ou encore de produits chimiques, quelques caractères nouveaux prétendument héréditaires ! Déjà, à ce propos, le terme d'hybridation végétative a été prononcé en Occident. J'ai d'ailleurs, dans un récent bulletin de notre Société, donné mon avis sur ces très curieuses expériences d'obéissance mitchourinienne.

Au cours de ces dernières années, de nombreux travaux ont montré l'inanité des théories de LYSSENKO. Si, comme je le pense, certains d'entre vous souhaitent posséder un supplément d'information, je leur

conseille de lire un livre de solide critique, dû à la plume de Julian Huxley. Cet ouvrage, qui résume la pensée de cet Auteur sur ce brûlant sujet, a été traduit en français. Il a pour titre : « La Génétique Soviétique et la Science Mondiale ». Il est paru, en 1950, chez l'éditeur Stock. D'autre part, Jean Rostand, dans un chapitre de ses essais, intitulé : « Science Fausse et Fausses Sciences », nous donne également une critique fort sévère, mais juste, de l'œuvre de LYSENKO.

Pour conclure, sans vouloir sortir de la critique scientifique pure, je pense que vous vous associerez à moi, en vous réjouissant de voir l'U.R.S.S., qui, si souvent s'est montrée de grande valeur dans d'autres domaines scientifiques que celui de la génétique mitchourienne, ayant définitivement répudié les théories fantaisistes de LYSENKO, acceptera, éventuellement, sans les considérer comme un crime, les critiques valables qui pourraient être faites aux travaux de ses savants.

Et pour finir, paraphrasant quelque peu une célèbre maxime de Beaumarchais, j'écrirai :

« Sans le droit de critique, il n'est pas de progression possible dans la voie de la vérité scientifique ».

---

**EN SOUVENIR de Monsieur le Chanoine Maurice MANQUAT (\*)**  
**(1877 - 1964)**

par

R. LIENHART

---

L'Académie et Société Lorraines des Sciences aime à pérenniser le souvenir de tous les savants lorrains qui se sont distingués dans l'une quelconque des disciplines scientifiques qui font l'objet de son attention.

Il convient donc, de signaler, ici, la triste nouvelle de la récente disparition de M. le Chanoine Maurice MANQUAT, Professeur honoraire de zoologie des Facultés catholiques d'Angers. Le Chanoine MANQUAT est, en effet, décédé, le 5 mai 1964, à Schwitz (Suisse), où il s'était fixé lors de sa retraite.

Il était né à Nancy, en 1877, dans la maison de l'artiste Huel. Il passa son enfance à Jarville, et fit ses études secondaires au collège de la Malgrange.

Personnellement, j'ai bien connu le Chanoine MANQUAT. C'est en 1903, alors que j'étais jeune étudiant à notre Faculté des Sciences, que j'ai rencontré pour la première fois Maurice MANQUAT, qui préparait, alors, au Laboratoire Cuénot, son certificat d'Etudes supérieures de zoologie.

En 1922, il soutient brillamment devant la Faculté des Sciences de Nancy, une thèse de Doctorat, sur les tropismes, et les théories de Loeb.

Lié d'amitié avec son Maître le Professeur Lucien Cuénot, il lui rendait assiduellement visite au laboratoire.

---

(\*) Note présentée à la séance du 22 avril 1965.

Maurice MANQUAT, qui poursuivit une longue carrière d'enseignement dans divers établissements libres de notre région, était hautement apprécié de ses élèves pour ses remarquables et originaux dons de pédagogue.

En 1924, il quitte la Lorraine, et est désigné pour succéder au savant zoologiste Fauvel, comme titulaire de la chaire de zoologie de la Faculté libre d'Angers. Mais chaque année, au moment des vacances, il revient en Lorraine et rend visite à ses nombreux parents, dont son neveu, M. l'Abbé Huchard, l'actuel curé de Lay-Saint-Christophe ; et à ses amis. C'est à cette occasion que chaque année je le retrouvais avec plaisir.

Original dans son enseignement, et à l'occasion artiste caricaturiste brillant, il savait mettre en relief dans ses dessins les caractéristiques de ses modèles. C'est ainsi qu'on lui doit un amusant portrait charge du Professeur Lucien Cuénot. Pendant de nombreuses années, ce portrait a orné l'un des murs du cabinet de travail du Maître.

Dans un domaine plus sérieux, on doit à Maurice MANQUAT, en collaboration avec Dalbis, d'excellents manuels scolaires et de vulgarisation biologique, dont : « Robert devient Naturaliste », et « Robert à la Montagne ». Ces livres sont d'excellentes préfigurations inspiratrices des ouvrages de vulgarisation des Sciences Naturelles d'aujourd'hui. A ses heures perdues, il excellait, aussi, dans la composition de pièces de théâtre, pour patronages ; dont le scénario cocasse, et digne cependant d'un grand psychologue, l'apparentait au célèbre Labiche.

D'autres, plus qualifiés que moi, ont dit quel saint prêtre, modeste, dévoué et charitable, fut le Chanoine Maurice MANQUAT.

Nous garderons de lui, le souvenir du Professeur remarquable auteur de travaux appréciés. Le Chanoine Maurice MANQUAT doit rester dans le mémorial des Naturalistes lorrains. Il s'apparente, en effet, par son prosélitisme de Biologiste, à d'autres savants prêtres de notre région, dont le nom est resté dans la Science ; tels que, l'Abbé Nicolas Boulay, et l'Abbé Léon Vouaux, que je m'honore d'avoir connus et admirés.

---

## OROBANCHACÉES : I. - CULTURE EXPERIMENTALE (\*)

par

Robert CÉZARD

---

*Résumé* : Description d'une méthode simple et efficace permettant de faire germer et croître des Orobanches sur les racines de leurs hôtes. Résultats positifs dans neuf cas sur douze espèces étudiées.

Les premiers stades du parasite peuvent être aisément observés in-vitro.

### 1° Quelques données sur ces parasites :

Les Orobanches, plantes parasites de végétaux supérieurs, sont généralement ignorées du grand public. Leur couleur et leur aspect les font écarter des bouquets, mais il arrive parfois que leur abondance intrigue le profane.

Elles sont cependant ici et là de redoutables ennemis des cultures : Autour de la Méditerranée, *Orobanche crenata* Forsk. épuise les cultures de Fèves, qui, dans ces régions sous-alimentées, sont des aliments protéiques recherchés ; en U.R.S.S., *O. cumana* Wall. réduit les récoltes de Tournesol ; *Striga* sp. — qui est plus généralement classé parmi les Scrophulariacées — s'attaque dans les régions chaudes au Sorgho, au Maïs, et à la Canne à sucre ; *Phelipaea ramosa* Mey. fait dépérir le Chanvre et le Tabac en Roumanie, mais aussi en France dans la vallée de la Loire ; *O. minor* Sutton cause quelques dégâts aux champs de Trèfle de la même région. Plus près de nous, *O. medicaginis* Duby diminue le rendement des luzernières autour de Pont-à-Mousson et de Pont-Saint-Vincent.

---

(\*) Note présentée à la séance du 22 avril 1965, transmise par M. WERNER.

La biologie de ces plantes a intéressé de nombreux chercheurs, botanistes ou agronomes : VAUCHER écrit en 1827 une « Monographie des Orobanches » et tente d'observer leur germination ; KOCH reprend ces travaux (1878, 1887) ; BARTSINSKY utilise les excréctions radicellaires de l'hôte pour faire germer *O. cumana* ; CHABROLIN (1934-1938) étudie la germination d'*O. crenata* ; BROWN et ses collaborateurs (1944-1952) tentent de séparer par chromatographie et de déterminer les produits responsables de la germination de *Striga hermonthica*, *S. lutea* et *O. minor* ; IZARD et ses collaborateurs étudient *Phelipaea ramosa* et tentent de trouver des produits susceptibles de la faire germer en l'absence d'hôtes afin de pouvoir la détruire dans les cultures ; RACOVITZA travaille sur la même espèce en Roumanie et cherche des plantes la faisant germer sans lui servir d'hôte ; KADRY et TEWFIC étudient la germination et le développement d'*O. crenata* ; PRIVAT (1960) accumule de très nombreuses observations sur *O. hederæ*, sur son hôte *Hedera helix* et sur leurs relations.

## 2° Nécessités expérimentales :

Etudiant le rôle joué dans la nature par les excréctions radicellaires des plantes, il nous a paru très intéressant de connaître l'action de différents Phanérogames parasitables sur douze espèces d'Orobanchacées.

Pour mener à bien notre travail, il était à la fois nécessaire de pouvoir suivre la germination et les premiers stades de fixation des parasites, et de constituer une collection de ceux-ci, afin d'observer leur cycle biologique.

Pour que les semences du parasite puissent germer, il est nécessaire qu'elles soient situées dans la rhizosphère de l'hôte, ou reçoivent les produits excrétés par les racines ; de très rares germinations furent cependant observées en l'absence d'hôte, dans du sable humide — CHABROLIN (1936) — ou sur eau distillée — IZARD (1957), KRENNER (1958) —, chez *O. crenata*, *P. ramosa*, *O. cumana* ; quelques produits minéraux ou organiques ont permis d'obtenir la germination de *P. ramosa* — IZARD et HITIER (1953, 1958) — et d'*O. hederæ* — PRIVAT (1959) —. Pour que la croissance ait lieu, il est nécessaire que le procaulôme (tube germinatif partant de la graine et portant l'embryon) entre en contact avec une racine : le parasite pénètre dans celle-ci, et il se forme un organe mixte : le tubercule. Au niveau de celui-ci, il se produit une véritable greffe, avec réorganisation de la vascularisation au profit du parasite.

La petite taille des semences (40 à 100  $\mu$   $\times$  150 à 600  $\mu$ ), et parfois le faible volume des quantités disponibles rendent expérimenta-

lement aléatoire en pleine terre le contact entre les racines de l'hôte et les graines du parasite.

Les stations naturelles bénéficient par contre de la viabilité des semences (dix ans et plus), et de leur accumulation au cours des années.

### 3° Méthodes employées :

Qu'il s'agisse d'étudier les premiers stades du parasite ou d'obtenir des plantes adultes, la fixation de celui-ci sur les racines de l'hôte est obtenue in-vitro. Le repiquage éventuel en pleine terre des plantes nourricières et de leurs Orobanches peut être ainsi effectué par la suite en toute connaissance de cause.

La technique suivante donne de bons résultats :

Les semences de l'hôte sont mises à germer sur de la perlite humidifiée à l'aide d'une solution nutritive minérale de Hoagland et Arnon. Lorsque les racines atteignent une longueur de 5 à 7 cm, les plantules sont repiquées isolément dans des tubes à essais de 25 cm de long et de 25 mm de diamètre, remplis au tiers avec la solution nutritive précédente. Un bouchon de caoutchouc percé d'un orifice de 8 mm de diamètre soutient chaque plantule au niveau du collet. Les racines reposent à la surface d'une lame de verre recouverte par une bande de papier filtre ou de papier en fibres de verre plongeant dans la solution. La nutrition de la plantule et l'aération du système racinaire sont ainsi assurés. Les tubes sont alors placés dans des supports opaques.

Après bonne reprise de l'hôte, les semences du parasite sont déposées à la périphérie des racines et à leur contact. Un lavage préalable des graines permet d'éliminer les produits tégumentaires bruns qui sont nocifs pour les jeunes racines. Cette dernière opération est effectuée dans un appareil à filtrer de Swinny, les semences étant placées entre deux filtres Durieux N° 268 et rincées par un courant d'eau distillée.

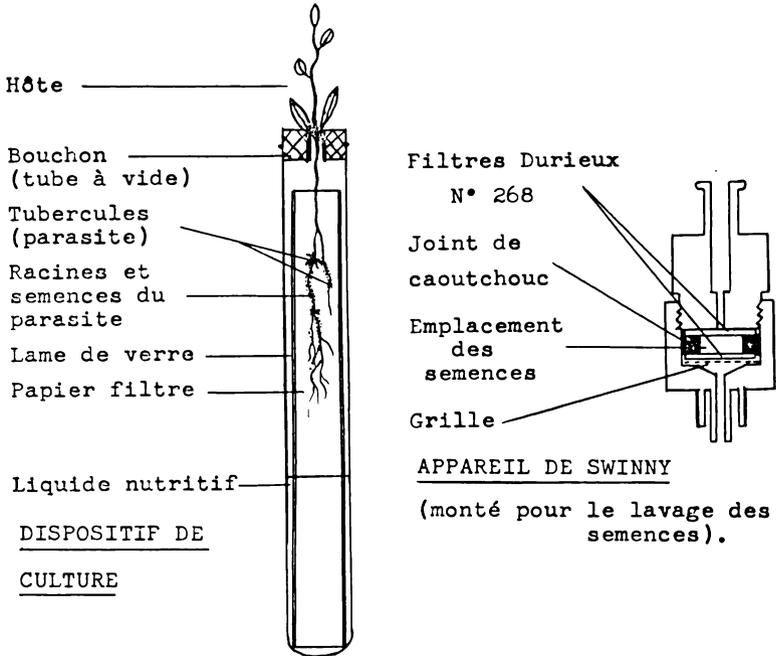
Dix à vingt jours plus tard, les semences germent, et, un mois après leur mise en place, de jeunes tubercules dus au parasite sont visibles.

Lorsque les tubercules atteignent une taille de 8 à 10 mm, les traitements diffèrent suivant les buts poursuivis :

a) Si l'on désire obtenir de jeunes tubercules dont l'envergure des pseudo-racines ne dépasse pas 20 à 25 mm, la lame de verre et la bande de papier sont enlevées, la solution nutritive est remplacée par un milieu frais dont le niveau est amené légèrement en dessous du point d'insertion du premier tubercule.

b) Si un stade plus avancé ou des individus adultes sont désirés, les plantes parasitées sont repiquées dans des pots contenant de la terre fine.

c) Si la création d'une collection est le but final, le passage en pots est suivi par la mise en place définitive deux à trois mois plus tard.



#### 4° Résultats :

Des résultats positifs peuvent être obtenus avec :

<i>Orobanche epithymum</i> D.C.	sur <i>Thymus serpyllum</i> L.
<i>O. eryngii</i> Duby	sur <i>Eryngium campestre</i> L.
<i>O. galii</i> Duby	sur <i>Galium mollugo</i> L.
<i>O. hederæ</i> Duby	sur <i>Hedera helix</i> L.
<i>O. major</i> L.	sur <i>Centaurea scabiosa</i> L.
<i>O. minor</i> Sutton	sur <i>Trifolium repens</i> L.
<i>O. picridis</i> Schultz	sur <i>Picris hieracioides</i> L.
<i>Phelipaea caerulea</i> Mey.	sur <i>Achillea millefolium</i> L.
<i>P. ramosa</i> Mey.	sur <i>Trigonella faenum-graecum</i> L.

Par contre, le parasite n'a pas germé en présence de son hôte habituel dans les cas de :

<i>O. medicaginis</i> Duby	et <i>Medicago sativa</i> L. et <i>M. falcata</i> L.
<i>O. rapum</i> Thuill.	et <i>Sarothamnus scoparius</i> K.
<i>O. teucrii</i> Schultz	et <i>Teucrium chamaedrys</i> L.

Il est possible que dans ces trois cas, les semences du parasite ne germent qu'à un stade de végétation plus avancé de la plante-hôte, floraison, par exemple, comme le signalent KADRY et TEWFIC pour *O. crenata* Forsk. qui parasite la Fève.

### 5° Conclusions :

Cette méthode peut faciliter l'étude biologique des Phanérogames parasites racinaires : en fournissant un matériel propre et intact dont les jeunes stades sont d'une récolte délicate sur le terrain ; en permettant une observation régulière de la croissance du parasite ; en facilitant l'étude de certains mécanismes du parasitisme (germination des semences, résistance de l'hôte face à l'invasion, modification ou suppression de certaines fonctions par dégradation et adaptation à la vie parasitaire). La lutte contre un parasite est en effet d'autant plus efficace que sa biologie est mieux connue.

Il faut noter aussi, que les particularités de ces plantes les font rechercher à titre de curiosité par de nombreux jardins botaniques.

De nombreuses demandes de semences parvenues au Jardin Botanique de Nancy depuis leur inscription sur le catalogue d'échanges témoignent de l'intérêt qui leur est porté.

L'utilisation de cette méthode pour constituer une collection de tels parasites permettra d'éviter bien des échecs, car 200 à 300 semences sont suffisantes, alors qu'il est nécessaire de mélanger 4 à 5 ml de graines — soit plusieurs millions — à la terre fine de chaque pot destiné à recevoir les semences de l'hôte pour avoir quelques chances de succès.

### BIBLIOGRAPHIE

- BARTSINSKY (R.M.) (1932). — Contribution à l'étude physiologique de la germination d'*Orobanche cumana* (en russe).  
*Bull. Krasnodar*, n° 2, 3 (selon IZARD et HITIER, 1953).
- BROWN (R.) et EDWARDS (M.) (1944). — The germination of the seed of *Striga lutea*. I Host influence and the progress of germination.  
*Ann. Bot.*, 8, 131-148.
- BROWN (R.) et EDWARDS (M.) (1945). — Effects of thiourea and allylthiourea on the germination of the seeds of *Striga lutea*.  
*Nature*, London, 155, 455-456.
- BROWN (R.), GREENWOOD (A.), JOHNSON (A.), LONG (A.) (1951). — The stimulant involved in the germination of *Orobanche minor* Sutt.  
*Biochem. J.*, 48, 559-568.

- BROWN (R.), JOHNSON (A.), ROBINSON (E.), TODD (A.) (1949). — The stimulant involved in the germination of *Striga hermonthica*.  
*Proc. Roy. Soc. London*, B, 136, 1-12.
- CHABROLIN (C.) (1934). — La germination des graines d'Orobanche.  
*C. R. Acad. Sci.*, 198, 2275-2277.
- CHABROLIN (C.) (1935). — Germination des graines et plantes-hôtes de l'Orobanche de la Fève (*O. speciosa* D.C.).  
*C. R. Acad. Sci.*, 200, 1974-1976.
- CHABROLIN (C.) (1936). — La germination des graines de l'Orobanche de la Fève  
*C. R. Acad. Sci.*, 203, 203-204.
- CHABROLIN (C.) (1937). — La germination des graines de l'*Orobanche speciosa*.  
*C. R. Acad. Sci.*, 205, 245-246.
- CHABROLIN (C.) (1938). — La germination des graines de l'*Orobanche speciosa*.  
*C. R. Acad. Sci.*, 206, 1990-1992.
- IZARD (C.) (1957). — Sur la germination de l'Orobanche parasite du Tabac.  
*Bull. Soc. Fr. Physio Végét.*, 3, n° 3, 92-93.
- IZARD (C.) et HITIER (H.) (1953). — Obtention de la germination in-vitro des graines de l'Orobanche du Tabac.  
*Ann. Institut du Tabac*, Bergerac, I, 47-56.
- IZARD (C.) et HITIER (H.) (1954). — Nouvelles recherches sur la germination des graines de l'Orobanche parasite du Tabac.  
*Ann. Institut du Tabac*, Bergerac, 2, n° 1, 9-13.
- IZARD (C.) et HITIER (H.) (1958). — Action du 1-3-dichloropropane, 1-2-dichloropropène, de la rindite et de la giberelline sur la germination des graines de l'Orobanche parasite du Tabac.  
*C. R. Acad. Sci.*, 246, 2659-2661.
- KADRY (A.R.) et TEWFIC (H.) (1956). — Seed germination in *Orobanche crenata* Forsk.  
*Svensk Bot. Tidskrift*, 50, n° 2, 270-286.
- KADRY (A.R.) et TEWFIC (H.) (1956). — A contribution to the morphology and anatomy of seed germination in *Orobanche crenata*.  
*Botaniska Notiser*, 109, n° 4, 385-399.
- KOCH (L.) (1878). — Ueber die Entwicklungsgeschichte des Samens der Orobanchen.  
*Jahrb. Wiss. Bot.*, 11, 218-261.
- KRENNER (J.) (1958). — The natural history of the sunflower broomrape, *Orobanche cumana* Wall.) I, The morphological anatomy of the sunflower broomrape seed. Its germination and the infection mechanism of its germs.  
*Acta Bot. Acad. Sci. Hungar.*, 4, n° 1-2, 113-144.
- PRIVAT (G.) (1959). — Sur la germination in-vitro de l'Orobanche du Lierre (*O. Hederae* Duby).  
*C. R. Acad. Sci.*, 249, 156-158.
- PRIVAT (G.) (1960). — Recherches sur les Phanérogames parasites (Etude d'*Orobanche Hederae* Duby).  
*Ann. Sci. Nat. Bot. Bio. Veg.*, 1, n° 4, 721-871 (Thèse).
- RACOVITZA (A.) (1958). — *Carum ajowan* Benth. et Hook., une nouvelle et intéressante plante nourricière d'*Orobanche ramosa* L.  
*J. Agri. Trop. et Bot. Appl.*, 5, n° 6-7, 490-496.

- RACOVITZA (A.) (1959). — Nouvelles observations sur la germination des graines d'*Orobanche ramosa* L.  
*J. Agri. Trop. et Bot. Appl.*, 6, n° 1-2-3, 111-114.
- RACOVITZA (A.) (1959). — Contributii la cunoasterea plantelor gazda si stimulente ale lupoaiei ramificate (*Orobanche ramosa* L.).  
*Lucrarile Inst. Cercetari Alimentare*, 4, 215-221.
- RACOVITZA (A.) (1960). — Contributii noi la cunoasterea plantelor gazda si stimulente ale lupoaiei ramificate (*Orobanche ramosa* L.).  
*Studii Cercetari Agron.*, 11, 139-143.
- RACOVITZA (A.) (1961). — Contributii la cunoasterea mecanismului rezistentei plantelor foarte rezistente la atacul lupoaiei ramificate (*Orobanche ramosa* L.).  
*Commun. Acad. Rep. Pop. Romine*, 11, n° 11, 1392-1398.
- RACOVITZA (A.) (1962). — O noua contributii la cunoasterea plantelor gazda si stimulente ale lupoaiei ramificate (*Orobanche ramosa* L.).  
*Commun. Acad. Rep. Pop. Romine*, 12, n° 7, 831-835.

Laboratoire de Botanique - Faculté des Sciences, Nancy.

---

# QUARTZITES TAILLÉES ET GRATTOIR - BURIN EN SILEX PALEOLITHIQUES A FLAVIGNY-SUR-MOSELLE (1)

par

E. BOUILLON

---

Lorsqu'après le pont de Richardménil, ayant franchi la Moselle, on quitte la R.N. 57 en direction d'Epinal, pour prendre à droite la R.N. 413 se dirigeant vers Ceintrey et Mirecourt, on passe, sur une distance de quelque 3 km, de la cote 232 m (altitude où coule la rivière), à celle de 330 m, soit une dénivellation d'une centaine de mètres. On peut alors, en examinant la coupe des terrains sur la partie droite de la route montant en écharpe, suivre les différentes couches, depuis les « Marnes irisées supérieures » jusqu'aux alluvions anciennes de la Moselle (alluvions des plateaux P de la carte géologique), bordant la R.N. 413 des deux côtés, du croisement de la route de Flavigny-sur-Moselle à Frolois, jusqu'à la limite du canton d'Haroué, lisière nord de « les Hombois » et du « Bois des Quartes » (Fig. 1).

Les « Marnes irisées » montrent des marnes bariolées (« Keuper »), avec des plaquettes dolomitiques (calcaire magnésien), disparaissant brusquement pour faire place à un massif de grès siliceux (Rhétien), auquel succèdent des marnes feuilletées, noires ou grises. Au-dessus de celles-ci apparaît un second massif de grès siliceux contenant plus ou moins de galets à la partie supérieure (poudingues). On distingue enfin les « Argiles de Levallois » rouge lie de vin, sans fossiles, mais au-dessus desquelles, dans le cailloutis de base des loess anciens et récents, on a souvent rencontré les vestiges d'industries acheuléennes et moustériennes.

Ici, à défaut de silex, *l'homo faber* a fait usage de galets de quartzite, que l'on trouve mélangés à des marnes grises plus ou moins sableuses du lias inférieur (sinémurien), caractérisées par la présence de nombreuses gryphées arquées (2). Ces alluvions s'étendent sur une

---

(1) Note présentée à la séance du 13 mai 1965, transmise par M. P. MAUBEUGE.

(2) C'est dans le même complexe géologique que mon collègue René DÉZAVELLE a fait, à Eply (canton de Nomeny), et Morville-sur-Seille (canton de Pont-à-Mousson), les importantes découvertes publiées par M. A. BELLARD, Conservateur des Musées de Metz.

largeur de 150 à 200 m environ, tant sur le côté droit que sur le côté gauche de la route nationale et sont retournées plus ou moins profondément chaque année par les charrues, au cours des différentes cultures. Les quartzites taillées faisant l'objet de la présente communication, ont été trouvées sur la partie droite, plus nombreuses au point + 4 (Fig. 1). Nous sommes ici à l'altitude de 300 m. environ, soit une dénivellation de 70 m.



FIG. 1. — Carte de France au 50.000<sup>e</sup>  
Feuille xxxiv-16 Bayon.  
P. Alluvions des plateaux.  
a1. Alluvions anciennes.  
+ Lieu des trouvailles.

Passons maintenant en revue les différentes trouvailles :

1° Tout d'abord, la moitié d'un galet, épointé à l'usage (Fig. 2), sans plan de frappe préparé, mais laissant voir l'utilisation voulue de la partie plate que formait la base ; on remarque alors la présence d'un bulbe de percussion bien prononcé et sur la tranche de la pièce des traces indiscutables d'intervention humaine. La partie avers (Fig. 2 A), plus patinée que l'autre, porte les traces d'enlèvement de deux gros éclats ; comme le matériau utilisé ne permettait pas d'obtenir la cassure

nette du silex, on constate la présence de nombreuses petites cupules ayant été soumises à l'action prolongée du vent : l'usure éolienne a attaqué uniformément les angles comme les creux des facettes. Examinées à la loupe, on aperçoit l'érousement des arêtes, transformées en une sorte de réseau de petites bandes plus ou moins larges, plus lustrées que le fond des cupules. Au revers (Fig. 2 B), on distingue le plan de frappe naturel, le conchoïde et les esquilles de percussion ; à gauche, l'enlèvement d'un éclat a facilité l'emplacement de la base de l'index qui devait s'appliquer dans la dépression formée lors de la tenue de

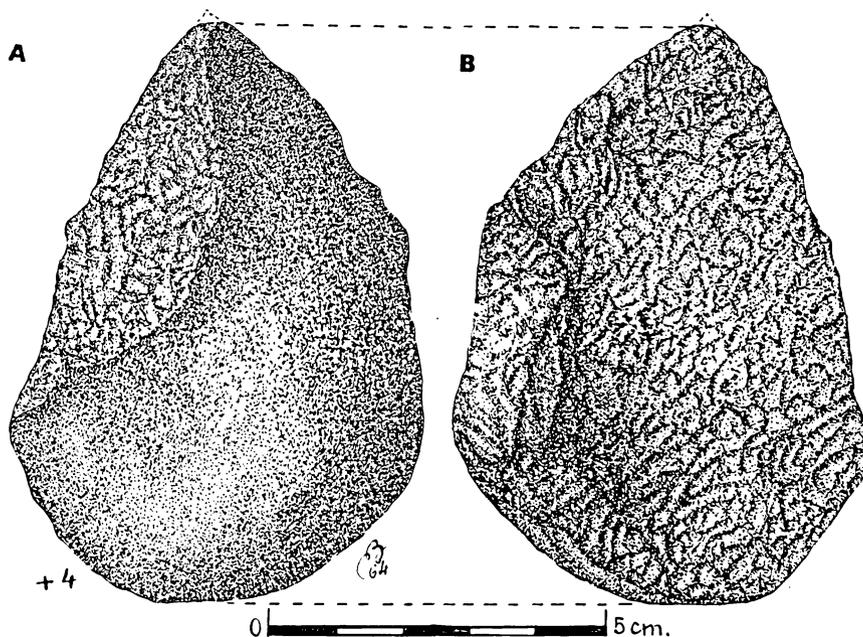


FIG. 2. — Pointe-raclor en quartzite. — A. Avers - B. Revers.

l'outil en main. Celui-ci a comme dimensions, 88 mm de longueur, 62 mm de largeur et 25 mm d'épaisseur. Avec sa forte et très ancienne patine, son allure générale, cette pièce pourrait être attribuée à un acheuléen récent ou à un moustérien très ancien.

2° *Raclor-pointe moustérien* (Fig. 3), sans plan de frappe préparé, sans conchoïde de percussion, sans patine. De beaux éclats épais ont été tirés au cours de la taille, ayant laissé des arêtes à angles vifs ; on aperçoit au revers, sur le côté de la pièce, les traces de trois petits éclats de percussion ayant provoqué la cassure du galet ; sur le revers,

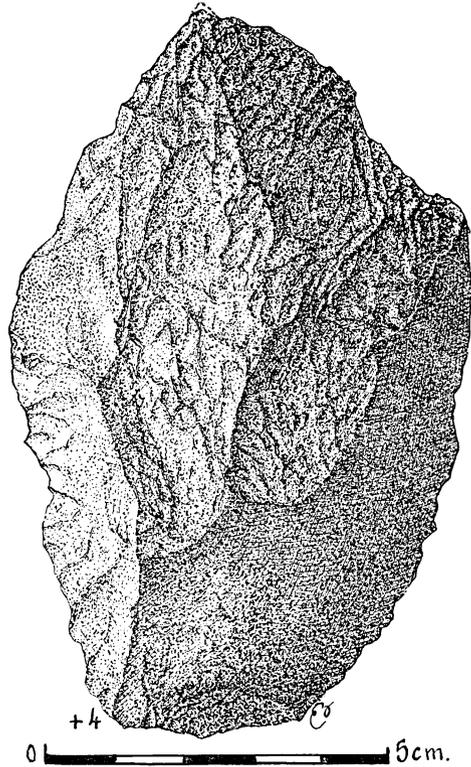


FIG. 3. — Racloir-pointe en quartzite

quelques stries radiaires sont visibles sur les deux tiers de la largeur. Quelques grains de limonite (hématite brune), ainsi que des concrétions calcaires apportent le témoignage d'un long séjour dans les alluvions. D'après l'Abbé BREUIL, cette pièce pourrait appartenir au Languedocien, industrie particulière au Midi de la France (dénomination créée par lui), et qui serait contemporaine du Levalloisien et du Moustérien. Dimensions : longueur 10 cm 5, largeur 6 cm 5, épaisseur 6 cm 3. Ces deux outils précités, ont été découverts en 1938.

3° Viennent ensuite quatre grattoirs sur bout de galets ; ils ont quelque peu l'aspect de grattoirs épais aurignaciens (Fig. 4, A, B, C, D). Des pièces ayant un air de famille ont été découvertes par M. Paul WERNERT, Directeur régional des Antiquités préhistoriques à Strasbourg, dans le loess ancien (lehm rouge) de la carrière Hurst-Sundhauser d'Achenheim (Fig. 70, p. 217), ainsi qu'un grattoir sur calotte segmentaire en quartzite, dans le loess moyen d'Achenheim (Fig. 60, p. 214) [I].

Pour A et C (Fig. 4), la base plane naturelle des galets a pu être utilisée sans retouches ; par contre, pour B et D, le galet a dû auparavant, être brisé en deux parties dans le sens de la longueur. Sur B, le point de frappe est marqué par un bulbe de percussion et stries en éventail s'étendant sur toute la largeur ; quant à D, la base a été brisée ultérieurement par de nombreux coups portés sur la tranche du galet. Les trois premiers grattoirs A, B, C, ont sans aucun doute servi également comme racloirs mais leur long séjour dans les alluvions a tant soit peu atténué les retouches.

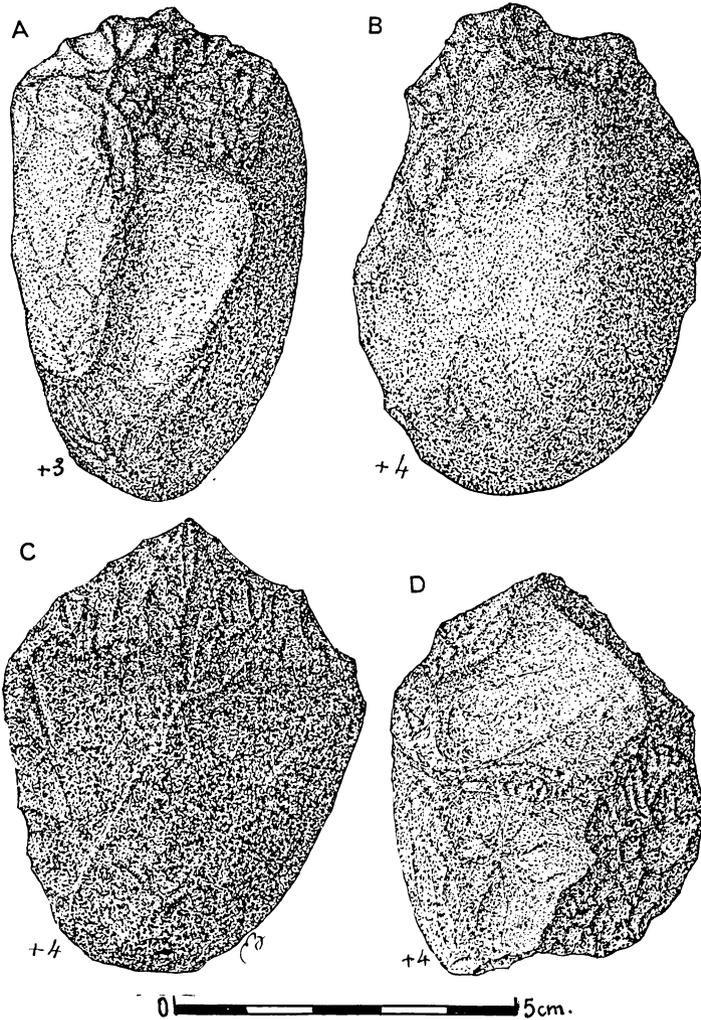


FIG. 4. — Grattoirs sur bout de galets en quartzite

Dimensions de ces différents outils :

+ 3 A.	Longueur, 72 mm	-	Largeur, 44 mm	-	Épaisseur, 38 mm
+ 4 B.	— 73 mm	—	— 51 mm	—	— 31 mm
+ 4 C.	— 66 mm	—	— 52 mm	—	— 26 mm
+ 4 D.	— 58 mm	—	— 46 mm	—	— 25 mm

Il me faut noter en passant que depuis la publication de la station moustérienne de Laneuveville-devant-Nancy (II), j'y ai découvert un grattoir sur bout de galet ressemblant à ceux de Flavigny-sur-Moselle, courbe de niveau 240 m, à 150 m à gauche du chemin de terre partant de la D 112, pour desservir la contrée du « Ruisseau des Truies ».

4° *Grattoir-burin* (Fig. 5. — Ce dernier fut découvert un peu plus au sud (Fig. 1 + 2), dans des alluvions légèrement plus fines avec une diminution sensible du nombre des galets de quartzite, toujours du côté droit de la route, à 150 m au-delà des ruines de la ferme de la Woivre. Celle-ci fut détruite par un incendie avant la guerre 1914-18 et jamais reconstruite.

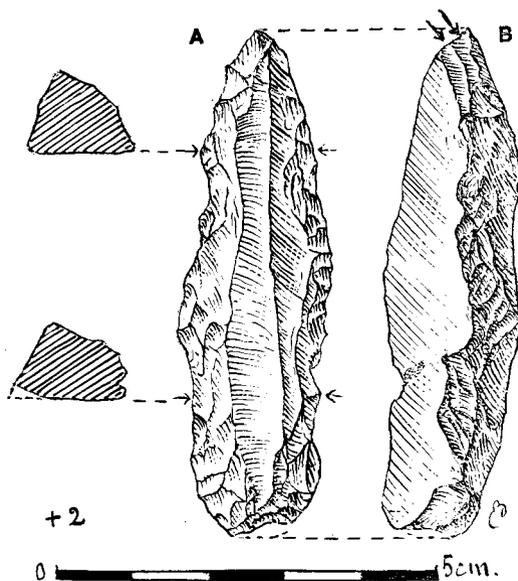


FIG. 5. — Grattoir-Burin en silex.

Le grattoir-burin sur lame, *en silex* gris-bleu, a 57 mm de longueur sur 19 mm de largeur et 12 mm d'épaisseur. L'extrémité antérieure ayant servi de burin porte les traces de deux enlèvements (Fig. 5 B) ; la base, brisée en partie, laisse encore voir deux cannelures,

c'est tout ce qu'il reste du grattoir sur bout de lame. Tout le côté gauche et le bas de la partie droite portent des encoches et des traces d'esquilles laissant présumer que l'outil a dû être réutilisé comme retouchoir ou écrasoir à une époque postérieure ; enfin, l'extrémité antérieure droite de la lame laisse voir des retouches de taille solutréenne (taille en copeaux). C'est l'unique pièce découverte en cet endroit et *en silex*. A quelle époque faut-il l'attribuer ? M. Paul WERNERT pense qu'il « pourrait être plutôt de type paléolithique supérieur que néolithique » ; c'est également l'opinion de MM. LIÉGER, délégué de la S.P.F. pour le département de la Meuse, et G. POIROT, de Pont-à-Mousson, archéologue, correspondant du Ministère de l'Education nationale. Pour essayer de lever complètement le voile sur ses origines, je me suis permis de faire appel à M. F. BORDES, professeur d'archéologie préhistorique à la Faculté des Sciences de Bordeaux, spécialisé dans l'étude du paléolithique. Dans une première lettre, il m'écrivait : « Je crois qu'il serait nécessaire de voir la pièce elle-même... les autres pièces me semblent probantes », et après réception de la lame, il déclarait : « Il s'agit d'un grattoir-burin. Le burin est bien net, le grattoir un peu moins. Une telle pièce peut être rapportée à n'importe quelle civilisation du paléolithique supérieur » (3). Ainsi, il aurait été fabriqué par l'*homo-sapiens*.

Dans une étude d'ensemble du paléolithique supérieur de la Suisse (III), M<sup>me</sup> DE SONNEVILLE-BORDES note l'abondance des grattoirs, burins et perçoirs au magdalénien supérieur et a relevé vingt-deux grattoirs-burins en Haute-Savoie, trente-et-un au Musée de Berne, huit à celui de Zurich, et enfin quatre-vingt dix au Musée de Schaffouse.

Notre département se trouvant à proximité des gisements suisses par la vallée du Rhin et la trouée de Belfort, il ne paraît pas impossible que nous soyons, avec le grattoir-burin de Flavigny-sur-Moselle, en présence d'un outil perdu au cours de randonnées de chasse et qui, plus tard, aurait été utilisé comme retouchoir, ainsi qu'en font foi les nombreuses encoches et écaillures ayant énormément nui à la beauté primitive de la pièce. On a bien signalé des gisements magdaléniens à Farincourt (Haute-Marne), au pied des Roches à Saint-Mihiel, mais comme l'ont déjà démontré les fouilles actuelles de Pincevent sur les bords de la Seine, près de Montereau (commune de la Grande Paroisse), les magdaléniens étaient avant tout des chasseurs : ils ne s'enfermaient dans des grottes ou n'utilisaient les abris sous roches que lorsque la température ne leur permettait pas d'installer leurs « tentes collectives »

---

(3) Que M. le Professeur François BORDES veuille bien accepter mes vifs et sincères remerciements pour avoir bien voulu examiner le grattoir-burin en silex de Flavigny-sur-Moselle, ainsi que les dessins des autres pièces en quartzite, conférant alors à ces outils tout l'intérêt préhistorique auquel ils peuvent prétendre.

dans les endroits propices pour attaquer les troupeaux de rennes, ainsi que le font encore actuellement les Esquimaux et les Lapons, ce qui confirmerait l'hypothèse d'un *outil perdu* (IV). Outil également perdu la pointe de type moustérien à plan de frappe préparé, découverte au cours de la guerre (1914-1918) et ramassée à la surface d'un champ à Savonnières en Perthois (Meuse) par André NIEDERLANDER, maire de Rocamadour (Lot) ; outils perdus enfin le fragment de lame à dos abattu ainsi que la base d'une pointe à cran d'aspect solutréen (paléolithique supérieur) découverts dans les mêmes alluvions (4) (V).

Pour terminer, il s'agit d'une sorte de pointe trièdre en quartzite, à talon réservé pour la préhension, pesant 400 g, ayant 102 mm de longueur sur 65 mm de largeur et 46 mm dans sa plus grande épaisseur (Fig. 6). Elle fut découverte lieu-dit « le Conroy », au sud de Flavigny,

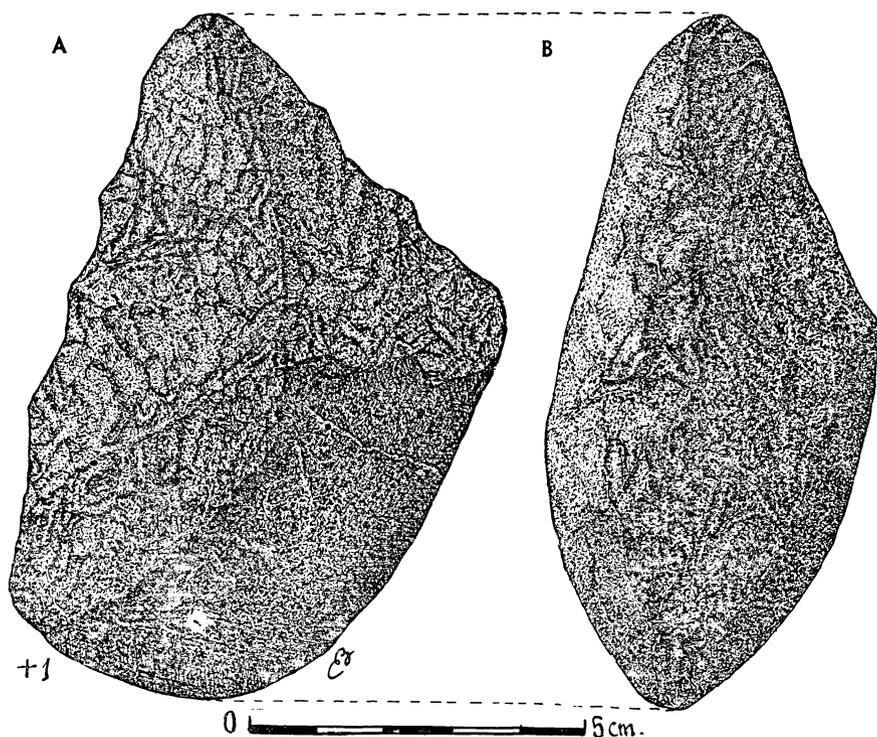


FIG. 6. — Pointe trièdre en quartzite

(4) Ayant attiré l'attention de M. Claude STOCKER, archéologue à Rachecourt-sur-Marne (Hte-Marne) sur cette contrée, il m'écrivait en mars 1964 que les recherches effectuées par lui étaient restées infructueuses et il ajoutait : « Je pense que les objets trouvés par A. NIEDERLANDER ont été perdus sur ce terrain au cours d'une partie de chasse et qu'il n'existe donc pas de station ».

au pied du talus à gauche du chemin irrégulièrement entretenu (courbe de niveau 295), avant qu'il ne bifurque pour rejoindre la R.N. 413 (Fig. 1). Cette pièce a quelque ressemblance avec certaines pointes trièdres massives atériennes et porte sur les deux arêtes une suite d'encoches en zig-zag, rappelant la taille chelléenne. La pointe émoussée porte une dizaine de marques de percussion ; la pièce, roulée depuis la cote 330, a longuement été soumise à un brassage dans les alluvions, ce qui a eu pour résultat l'usure très prononcée des arêtes. Il s'agit certainement d'un outil ancien, peut-être même acheuléen.

Ainsi, à Flavigny-sur-Moselle, nous trouvons-nous en présence d'industries diverses qui, par leur typologie, vont au moins du paléolithique moyen (moustérien) à la fin du paléolithique supérieur (magdalénien), ce qui ne peut nous étonner puisqu'il s'agit d'un gisement de surface, formé d'alluvions anciennes, reposant sur des argiles de Levallois. Une fois de plus, nous constatons que les environs de Nancy ont bien été occupés à l'époque paléolithique par nos ancêtres préhistoriques. Il serait souhaitable que les découvertes fortuites futures soient notées sur les cartes d'Etat-major : elles pourraient alors former des jalons permettant peut-être un jour de découvrir les pistes suivies par les chasseurs préhistoriques, lors de la poursuite du gibier (5) et peut-être aussi, comme à Pincevent, de rencontrer les traces d'un campement où ils auraient pu attendre le passage d'animaux migrateurs.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [I] WERNERT Paul. — Contribution à la Stratigraphie Paléontologique et Préhistorique des Sédiments quaternaires d'Alsace-Achenheim. *Thèse de Doctorat*, Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg, 1957.
- [II] *Bulletin de l'Académie et Société Lorraines des Sciences*, nov. 1963, T. 3, N° 2 (pp. 85-88) et juin 1964, T. 3, N° 4 (pp. 45-50).
- [III] SONNEVILLE-BORDES (M<sup>me</sup> DE). — Le Paléolithique supérieur en Suisse. *L'Anthropologie* (Paris), T. 67, 1963, N° 3-4 (pp. 205-268).
- [IV] VIENNE (P.H.) — Une école à ciel ouvert dans le site archéologique de Pincevent. *Touring Club de France* (Touring Plein Air), 15-2, 1965, N° 200 (pp. 125-127).
- [V] BOUYSSONNE (Chanoine J.). — Indices paléolithiques trouvés dans le Barrois. *Association Française pour l'Avancement des Sciences*, 55<sup>e</sup> Session, Nancy, 1931, pp. 284-285.

---

(5) Ces voies empruntaient le plus souvent les hauteurs qui bordent les cours d'eau et non la vallée elle-même ; comme les troupeaux d'animaux, les hommes franchissaient alors les rivières aux gués.

# INVERSION SEXUELLE ET GLANDE ANDROGENE CHEZ QUELQUES CRUSTACES \*

par

André VEILLET et François GRAF

---

## **Inversion sexuelle au cours du développement post-embryonnaire.**

L'étude du développement post-embryonnaire des gonades et des glandes androgènes chez l'Amphipode *Orchestia cavimana* Heller et le Décapode *Carcinus maenas* L. montre que ces Crustacés sont au début de leur développement potentiellement ambisexués.

### **A. - Cas de *Orchestia cavimana*.**

A la sortie du marsupium, tous les individus ont des tractus génitaux morphologiquement identiques. Les gonades sont typiquement femelles, il s'y effectue une ovogénèse jusqu'au 5<sup>e</sup> intermue. De chaque gonade part un oviducte qui aboutit au 5<sup>e</sup> périopode. De plus, tous les individus présentent des ébauches de spermiductes à la base desquelles se trouve un amas mésenchymateux renfermant des cellules qui évolueront en glande androgène (VEILLET et GRAF, 1958 a ; GRAF, 1958).

Ainsi, de par leurs gonades et leurs oviductes, les individus sont femelles, les glandes androgènes et les spermiductes leur donnent le caractère mâle : les jeunes *Orchestia cavimana* sont hermaphrodites.

Les glandes androgènes et les spermiductes n'évoluent que chez les mâles ; le développement de la glande androgène s'accompagnant du remplacement partiel de l'ovogénèse par une spermatogénèse. L'évolution des glandes androgènes chez le mâle est sous la dépendance directe ou indirecte du sexe génétique.

---

\* Note présentée à la séance du 13 mai 1965.

Ces observations ont été confirmées par H. CHARNIAUX-COTTON (1959 a) chez *Orchestia mediterranea*.

**B. - Cas de *Carcinus maenas*.**

Le canal déférent de *Carcinus maenas* adulte quitte la cavité générale et gagne le coxopodite du 5<sup>e</sup> péréiopode par une ouverture chitineuse ovale bien visible. Au stade I (le sexe du jeune *Carcinus* étant déjà déterminé), c'est au niveau de cette ouverture qu'est présente l'ébauche triangulaire de la glande androgène (planche I, H et H').

Tous les individus de ce stade présentent des gonades identiques. Chez certains, la présence d'oviductes déjà bien développés nous laisse supposer que la gonade est femelle ; on note chez ces animaux (femelles) l'existence d'ébauches de glandes androgènes et de spermiductes.

Les glandes androgènes des autres individus (mâles) sont plus développées ; de chaque ébauche semblent partir les deux tronçons du spermiducte. Au cours des stades suivants, l'ébauche de la glande androgène se développe en poussant un cordon cellulaire vers l'extrémité distale du canal déférent. Les gonades sont identiques à celles d'individus femelles ; des traces d'oviductes sont observées.

Ainsi, comme l'Amphipode *Orchestia cavimana*, le Décapode *Carcinus maenas* montre au cours de son développement un stade d'intersexualité puisque tous les individus possèdent des ébauches de glandes androgènes, de canaux déférents et d'oviductes.

**Inversion sexuelle au cours de la vie adulte.**

**A. - Cas de l'hermaphrodisme protérandrique de *Lysmata seticaudata*. Risso.**

*Lysmata seticaudata* passe obligatoirement au cours de sa vie du stade mâle au stade femelle comme l'ont montré SPITSCHAKOFF (1912), CAROLI (1917) et NOUVEL (1940).

Chez les mâles, la gonade est un testicule dans la région postérieure, un ovaire sans vitellogenèse dans la région antérieure ; une stilamblys sur la première paire de pléopodes, un *appendix masculina* sur la deuxième et une paire d'épines sur chaque sternite de l'abdomen constituent les caractères sexuels externes. La transformation du mâle en femelle s'effectue, pour les caractères externes, en une mue (la mue critique), mais avant cette mue l'ovaire s'est développé considérablement et la vitellogenèse s'est établie si bien qu'aussitôt après la mue critique la femelle s'accouple et pond.

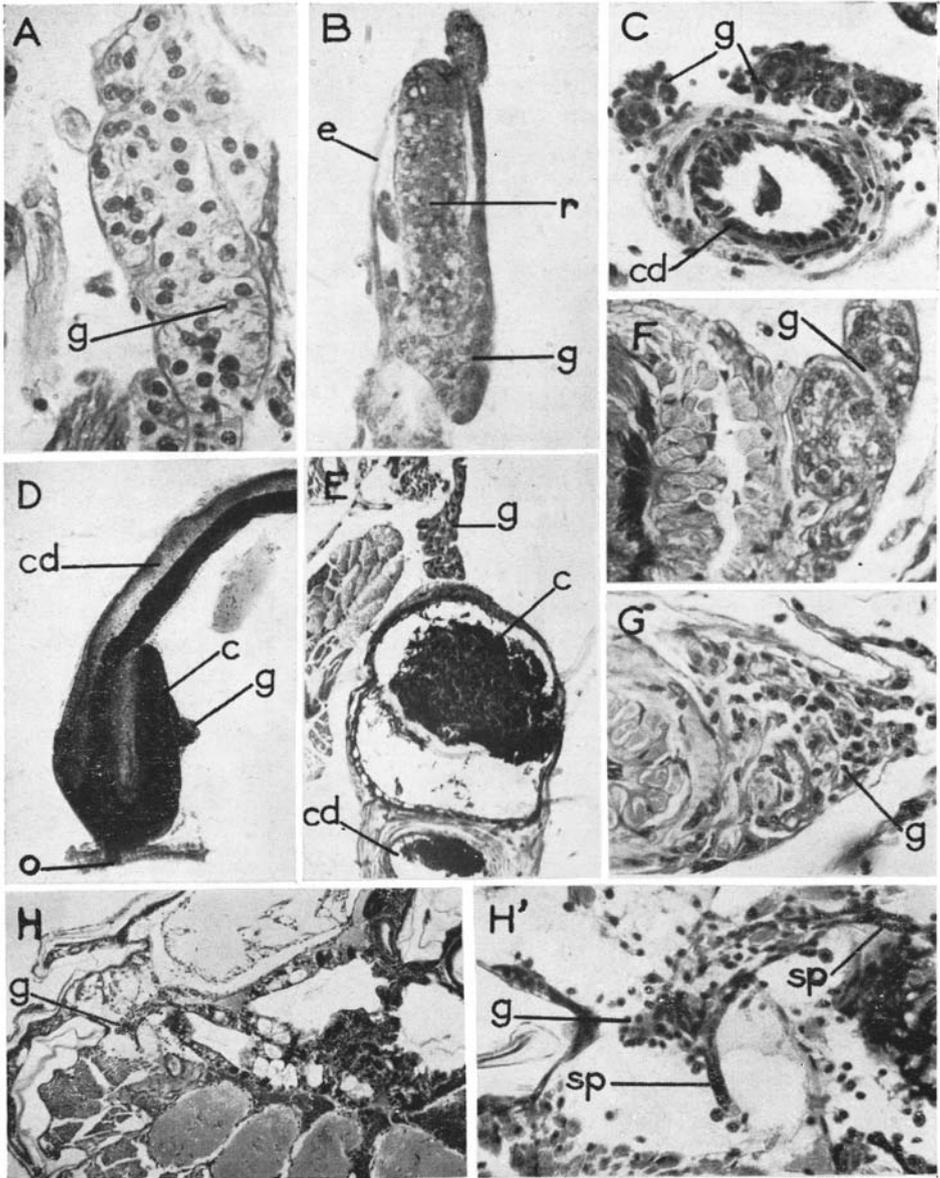


PLANCHE I

- A.: glande androgène (g) de *Pachygrapsus* indemne.  
 B.: racine de Sacculine (r) à l'intérieur de la glande androgène d'un *Pachygrapsus* parasité ; enveloppe de la glande (e).  
 C.: dégénérescence de la glande androgène (g) et du canal déférent (cd) d'un *Pachygrapsus* parasité.  
 D.: canal déférent (cd) et glande androgène (g) de *Lysmata seticaudata*. (c.: coecum ; o.: orifice génital).  
 E.: idem en coupe.  
 F.: glande androgène (g) de *Diogenes pugilator* indemne.  
 G.: glande androgène (g) de *D. pugilator* parasité.  
 H. et H'': coupe longitudinale d'un jeune *Carcinus* (stade I) montrant les cellules initiales de la glande androgène (g) et du spermiducte (sp).

H. CHARNIAUX-COTTON (1958) a montré qu'une glande androgène existe chez le mâle et qu'elle a disparu chez la femelle. Nos observations (VEILLET, 1958) confirment ces faits mais elles prouvent, de plus, que la glande androgène présente chez le mâle régresse progressivement dès le début du développement de la région ovarienne de la gonade.

Nous avons étudié un lot de trente-sept mâles et de vingt-sept femelles récoltées à Monaco en juin (1957), époque des mues critiques. Les mâles étudiés avaient pratiquement la même taille, autour de 30 mm ; une femelle venait de faire sa mue critique et de pondre, des femelles de petite taille, incubant leur première ponte, préparaient à un degré plus ou moins avancé la deuxième ponte, d'autres femelles enfin, beaucoup plus grandes, incubaient aussi.

Nous avons classé les mâles, depuis les mâles fonctionnels à région ovarienne de la gonade immature, jusqu'à la mue critique imminente.

Chez le mâle fonctionnel (Fig. 1, A.B) la glande androgène présente du point de vue histologique des zones de prolifération, les noyaux y sont nombreux, entassés les uns sur les autres, et des zones très vacuolisées correspondent certainement au stade d'activité sécrétoire des cellules (Fig. 2 a, A).

Au début du développement de la région ovarienne, la glande ne possède plus de zones vacuolisées, ni de zones de prolifération ; les cellules présentent un cytoplasme abondant, leurs noyaux ont un aspect normal (Fig. 2 a, B).

Un peu plus tard, alors que la région ovarienne domine nettement le testicule (Fig. 1, C), les premiers signes de dégénérescence se manifestent dans les glandes androgènes (Fig. 2 a, C), le volume des noyaux diminue, les membranes cellulaires se rompent, la glande a alors une structure syncytiale ; le cytoplasme montre des travées plus denses, informes, qui sont des reliquats des membranes cellulaires. Les noyaux deviennent alors pycnotiques, le cytoplasme disparaît peu à peu (Fig. 2 a, C et D).

Chez le mâle possédant un ovaire mature (Fig. 1, F), la glande androgène n'est représentée que par une enveloppe plus ou moins repliée renfermant quelques noyaux (Fig. 2 b, F).

Dans la jeune femelle qui vient de faire sa mue critique, il n'y a plus de trace de glande androgène.

Ainsi, il y a un parallélisme net entre la régression de la glande et le développement de l'ovaire, il y a par la suite réduction des canaux déférents. Remarquons cependant que l'état d'involution de la glande par rapport au développement de l'ovaire varie avec les individus, la

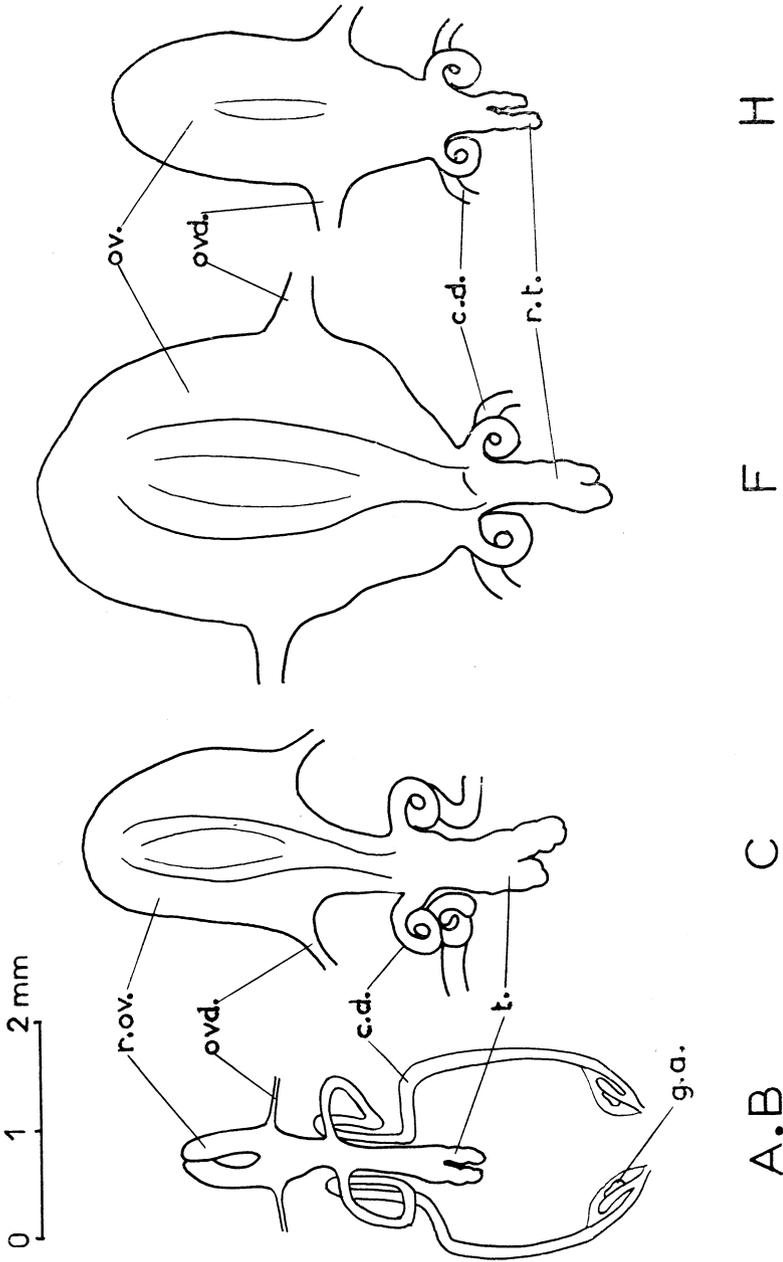


FIGURE 1. — Evolution des gonades mâles chez *Lysmata seticaudata*.

A.B. - C. - F. : gonades d'individus mâles par leurs caractères sexuels externes.

H. : gonade d'une femelle après la mue critique et une ponte.

r.ov. : région ovarienne ; ov. : ovaire ; ovd. : oviducte ; c.d. : canal déférent ;  
t. : testicule ; g.a. : glande androgène.

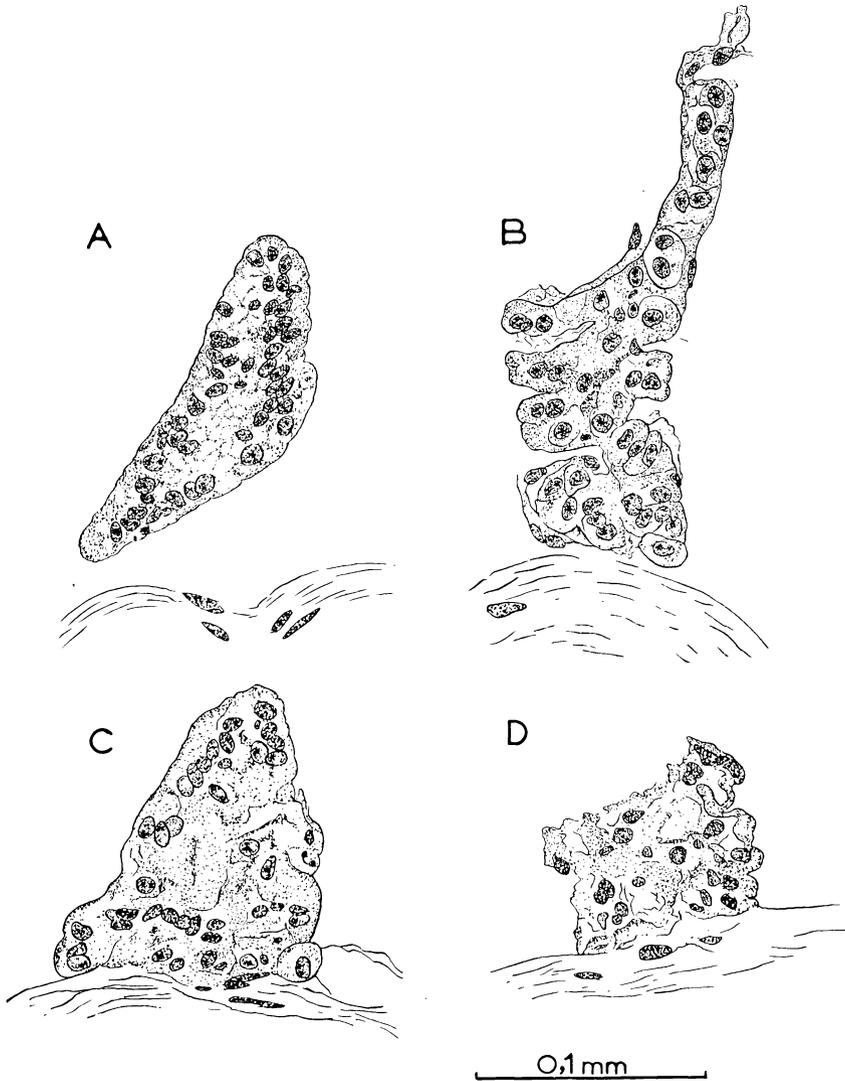


FIGURE 2 a. — Evolution de la glande androgène de *Lysmata seticaudata*.  
A. - B. : deux stades de la glande androgène de mâles fonctionnels correspondant à la gonade A.B. (Fig. 1).  
C. - D. : glande androgène de mâles dont la région ovarienne se développe de plus en plus (C correspond à la gonade C de la Figure 1).

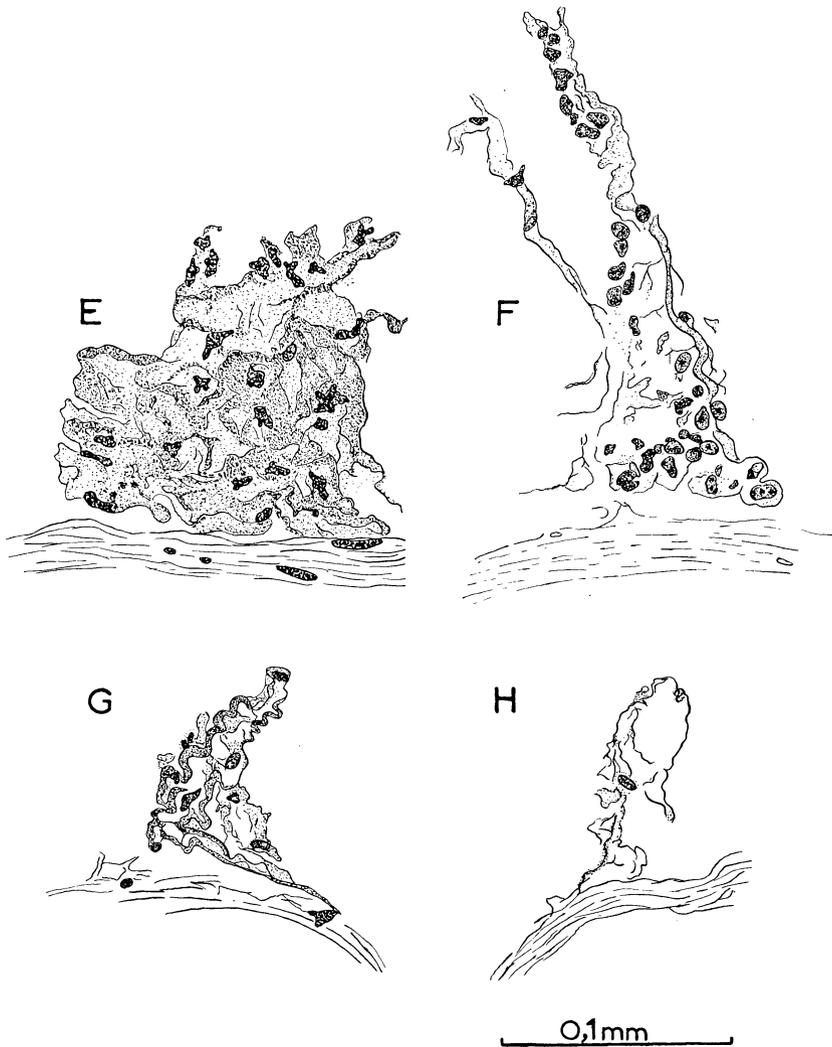


FIGURE 2 b. — Evolution de la glande androgène de *L. seticaudata* (suite).  
E. - F.: glande androgène de mâles présentant un ovaire mature (F correspond à la gonade F de la Figure 1).  
G. - H.: stades ultérieurs de la dégénérescence de la glande (H correspond à la gonade H de la Figure 1).

vitellogenèse pouvant être très avancée, pratiquement terminée, alors que la glande est encore visible.

Lors de cette étude, nous n'avons pas cherché à élucider le problème de la sécrétion de cette glande. Nous nous permettons cependant de faire les remarques suivantes. H. CHARNIAUX-COTTON (1959 b) estime que le mode de sécrétion de cette glande endocrine est holocrine ; dans ce mode, c'est la cellule tout entière qui constitue le produit de sécrétion. Dans le cas de *Lysmata*, la mise en liberté des produits de sécrétion serait donc maximale aux stades D et E (Fig. 2), cette hypothèse ne correspond pas avec l'état de la gonade. De plus, l'observation cytologique des glandes androgènes de nombreux mâles de toutes tailles, mais non sur le point d'effectuer la mue critique, montre des états semblables aux stades A et B (Fig. 2 a). Les noyaux pycnotiques y sont rares. Si la sécrétion de la glande androgène est réellement du type holocrine, il faut attendre l'approche de la mue critique pour assister à la libération des produits de sécrétion, l'accumulation de ces produits à l'intérieur des cellules ayant entraîné leur mort.

Comme nous l'avons dit précédemment, le stade A correspond au stade d'activité sécrétoire, les produits de sécrétion sont régulièrement éliminés mais sans entraîner la mort immédiate de la cellule.

Quant à la disparition de ces glandes, H. CHARNIAUX-COTTON envisage que « ces glandes, qui sont du type holocrine, fondent plus vite qu'elles ne régénèrent à partir d'un certain moment, probablement par suite d'un accroissement de la demande en hormone mâle ». De plus, cet auteur a montré par des expériences de greffe « qu'il n'existe pas de facteur inhibiteur de la glande androgène dans le sang de la femelle ».

Nous ne pouvons qu'émettre les hypothèses suivantes au sujet de la disparition de ces glandes :

— Il existerait un facteur inhibiteur de la glande chez le mâle sur le point d'effectuer sa mue critique ; ce facteur, disparaissant à la mue, ne serait pas forcément d'ordre humoral (il pourrait par exemple être d'origine nerveuse ou d'ordre génique).

— Les glandes androgènes auraient une activité temporaire en rapport avec le cycle saisonnier (chez *Orchestia cavimana*, le cycle saisonnier des ampoules ovariennes est en rapport avec un cycle des glandes androgènes).

— Le stade mâle de *Lysmata* correspondrait au premier stade post-embryonnaire du type *Orchestia cavimana* ou *Carcinus maenas*. Dans ce cas, la phase mâle pourrait être considérée comme un stade néoténique.

## B. - Cas des Crustacés Décapodes parasités par des Rhizocéphales.

La féminisation des Décapodes mâles parasités par les Rhizocéphales est un fait bien connu. Depuis l'hypothèse d'une castration parasitaire émise par GIARD (1887), les tentatives faites pour expliquer l'action du parasite se sont soldées par un échec parce que le déterminisme de la différenciation des caractères sexuels était inconnu chez les Crustacés.

La découverte de la glande androgène oblige à considérer l'action des Rhizocéphales sous un jour nouveau. H. CHARNIAUX-COTTON (1957) a constaté en effet que la glande androgène de *Carcinus maenas* L. parasité par *Sacculina carcini* Th. est hypertrophiée, et elle a émis l'hypothèse que cette hypertrophie est le signe d'une activité ralentie.

Cependant, l'un de nous a montré avec N. DEMEUSY (1958) qu'une hypertrophie de la glande androgène de *Carcinus maenas* accompagne l'ablation des pédoncules oculaires, mais cette hypertrophie indique une sécrétion accrue, caractérisée cytologiquement et elle s'accompagne non d'une féminisation, mais au contraire d'une masculinisation précoce du Crabe opéré. De plus, avec M.-L. BALESSENT-MARQUET (1958) nous avons montré que l'hermaphroditisme des mâles de l'Amphipode *Orchestia cavimana* Heller résulte d'une sécrétion amoindrie de la glande androgène en rapport avec la taille réduite de cette glande. Ces remarques nous ont conduits à étudier systématiquement l'évolution de la glande androgène des Décapodes parasités par les Rhizocéphales et à rechercher la signification de l'hypertrophie signalée par H. CHARNIAUX-COTTON.

Nous avons jugé nécessaire de relier l'état de la glande au stade du parasite ; en effet, un Crabe parasité par un Sacculinidé ne peut être féminisé que s'il mue et l'on sait que le parasite externe supprime les mues. Nous avons étudié plus spécialement trois Crabes parasités par la même Sacculine, la comparaison des résultats promettant d'être instructive : *Carcinus maenas* L. (de Roscoff), *Carcinus mediterraneus* Czerniawski son espèce jumelle (de Sète), *Pachygrapsus marmoratus* Fabricius (de Villefranche-sur-Mer), tous trois parasités par *Sacculina carcini* Thompson. Nous avons aussi disposé de nombreux Pagures *Diogenes pugilator* Roux (de Saint-Michel-en-Grève) parasités par *Septosaccus cuenoti* Duboscq et de quelques exemplaires des Décapodes suivants récoltés à Roscoff : *Macropodia rostrata* L. et *Inachus dorsetensis* Pennant, parasités tous deux par *Drepanorchis neglecta* Fraisse, *Eupagurus cuanensis* Thompson parasité par *Gemmosaccus sulcatus* Lilljeborg, *Eupagurus prideauxi* Leach parasité par *Gemmosaccus sulcatus* Lillj. ou par *Peltogaster curvatus* Kossmann.

Chez l'Anomoure *Diogenes pugilator* parasité par *Septosaccus cuenoti*, la féminisation est faible. Ch. PÉREZ a montré qu'elle consiste en l'acquisition par les pléopodes (uniramés chez le mâle, biramés chez la femelle) de soies intermédiaires dont la partie proximale pennée rappelle les soies mâles et dont la partie distale porte des barbules de soies femelles. Nous avons observé aussi dans quelques cas la réduction des deux premiers pléopodes et la présence de pléopodes biramés chez les mâles parasités. Nous avons choisi comme indice du taux de féminisation à la fois le nombre de soies intermédiaires, la réduction des premiers pléopodes, la présence de pléopodes biramés.

La présence du parasite interne ou externe s'accompagne de la dégénérescence de la glande androgène allant jusqu'à la disparition complète ; les images de coupes transversales de la glande (planche 1, F et G) rappellent à s'y méprendre celles de *Lysmata*. En même temps, les tissus des canaux déférents montrent de nombreux signes de nécrose. De plus, il existe un parallélisme assez net entre la féminisation de l'hôte et la réduction de la glande androgène, comme il en existe un entre le développement de l'ovaire, la réduction des canaux déférents et la dégénérescence de la glande androgène chez *Lysmata*.

Une dégénérescence semblable s'observe chez *Macropodia*, *Inachus* et les deux espèces d'*Eupagurus*.

Chez *Pachygrapsus marmoratus*, la glande androgène commence à dégénérer dès que la Sacculine est interne. L'observation des canaux déférents et des glandes androgènes a été faite sur un grand nombre de Crabes de féminisation croissante (rapport du III° au V° segment abdominal variant de 1,6 à 0,9).

Chez les Crabes peu féminisés, les noyaux de la glande deviennent pycnotiques et le cytoplasme disparaît en partie (Planche 1, C). Les racines du parasite s'insinuent parfois entre les cordons de la glande, sous l'enveloppe même (Planche 1, B). Chez les Crabes très féminisés, la glande a totalement disparu et le canal déférent est très réduit. Enfin, signalons que nous avons observé de très nombreuses racines de Sacculine mortes au niveau du canal déférent où la glande est, chez un individu indemne, le plus développée.

Chez les deux espèces de *Carcinus*, nous avons retrouvé l'hypertrophie de la glande androgène signalée par H. CHARNIAUX - COTTON, mais nos observations prouvent que cette hypertrophie est transitoire. Nous avons étudié l'état de la glande chez une centaine de *Carcinus mediterraneus* à Sacculine interne, rangés par taille (14 à 28 mm) et dans chaque classe de taille par degré de féminisation (rapport R du III° au V° segment abdominal variant de 1,5 à 1,1) et aussi l'état de la glande chez *Carcinus maenas* à Sacculine externe ou tombée.

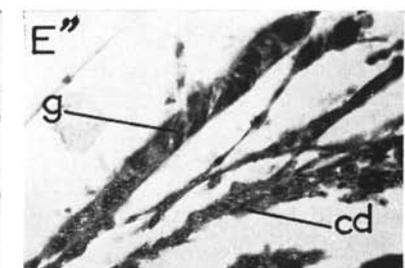
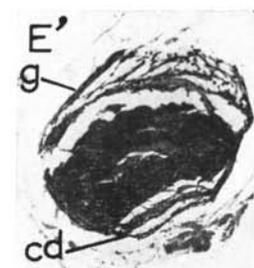
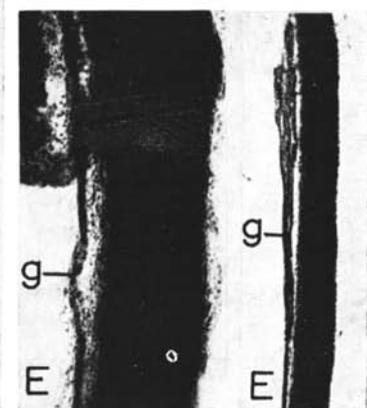
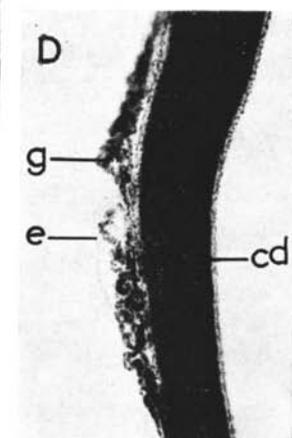
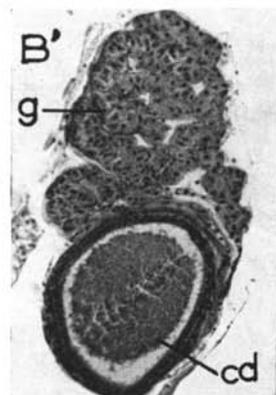
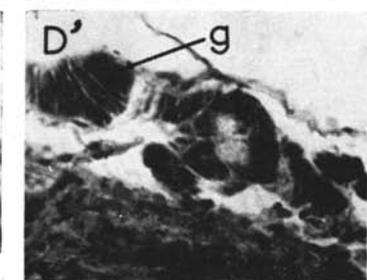
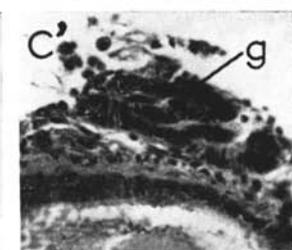
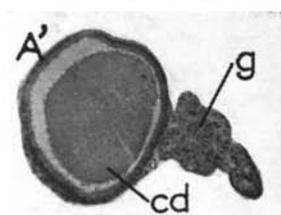
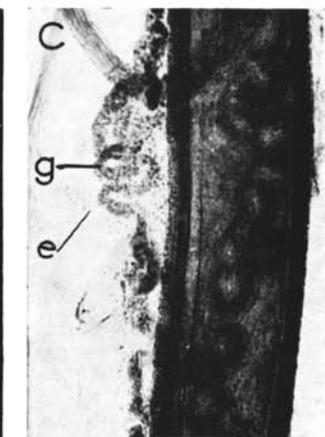
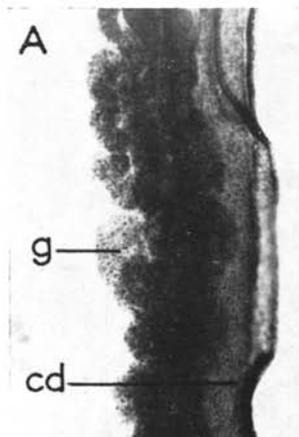
Les observations nous montrent que la Sacculine commence à modifier d'une façon apparente la glande androgène lorsque cette dernière a déjà atteint un certain stade de développement, mais qu'elle peut aussi inhiber en partie son développement. La transformation de la glande androgène va de pair avec la féminisation de l'hôte et peut être scindée en six stades :

- I : glande normale (R voisin de 1,5 à 1,45) (Planche 2, A et A').
- II : glande hypertrophiée, multiplication des noyaux (R voisin de 1,3) (Planche 2, B et B').
- III : réduction du cytoplasme, début de pycnose des noyaux (R voisin de 1,25) (Planche 2, C et C').
- IV : glande encore plus réduite, à cordons toujours contournés. Les noyaux pycnotiques serrés les uns contre les autres sont véritablement laminés (R voisin de 1,2) (Planche 2, D et D').
- V : le cordon glandulaire est à présent rectiligne, les noyaux sont toujours empilés et se nécrosent de plus en plus (R voisin de 1,1) (Planche 2, E' et E'').
- VI : le cordon glandulaire est très fragmenté ou absent.

La réduction de la glande androgène s'accompagne non seulement d'un ralentissement de la croissance du canal déférent mais même d'une dégénérescence évidente de ce dernier (Planche 2, E').

Deux jeunes *Carcinus mediterraneus* à Sacculine interne, de 14 mm et de rapport de féminisation  $R = 1,22$ , présentent des glandes androgènes au stade embryonnaire. Les noyaux sont ronds, le cytoplasme est très réduit (Planche 2, F). Au contraire, chez de nombreux Crabes de même espèce et de même taille mais de rapport de féminisation  $R = 1,41$  la glande est hypertrophiée. Les individus du premier cas ont été parasités beaucoup plus jeunes que ceux du deuxième ; le développement de leurs glandes androgènes est inhibé, ce qui explique leur forte féminisation.

Les Crabes de la même espèce, à Sacculine interne et dont la taille est de 15 à 30 mm, ne dépassent pas le stade II quel que soit leur rapport de féminisation. Au contraire, les stades III, IV, V et VI s'observent chez les *Carcinus maenas* de même taille à Sacculine externe. Nous voyons donc que l'action de la Sacculine sur la glande androgène des *Carcinus* se prolonge lorsqu'elle devient externe. Or, les Crabes d'une taille donnée les plus féminisés ont en moyenne été parasités les premiers et, si leur parasite est externe, ils ont subi son influence pendant le temps le plus long. Nous pouvons donc affirmer que la régression



de la glande androgène dépend à la fois de la durée des stades interne et externe.

En résumé, les Cirripèdes parasites étudiés sont responsables de la dégénérescence des glandes androgènes de leurs hôtes. Chez les deux espèces de *Carcinus*, chez *Pachygrapsus* et chez *Diogenes*, il existe un parallélisme certain entre l'intensité de cette dégénérescence et le degré de féminisation. L'exemple de *Pachygrapsus* et des deux *Carcinus* parasités par la même Sacculine est particulièrement probant : la disparition des glandes androgènes est beaucoup plus fréquente chez *Pachygrapsus*, espèce beaucoup plus féminisée que *Carcinus*. Nous pourrions donc conclure en affirmant que les Décapodes parasités par un Rhizo-céphale sont féminisés d'une manière indirecte parce que leurs glandes androgènes régressent sous l'influence du parasite. Il n'est cependant pas possible de nier toute action directe du parasite ; en effet, l'hôte mâle peut être plus féminisé que les femelles indemnes et nous savons aussi que les femelles parasitées peuvent, elles aussi, être hyperféminisées. Seules des expériences d'ablation des glandes androgènes chez des Crabes adultes indemnes ou sacculinés permettraient peut-être de conclure.

On sait aussi qu'un Crabe sacculiné peut muer après la chute ou l'ablation de la partie externe du parasite, les racines ont alors dégénéré. Or, G. VERNET-CORNUBERT (1958) a constaté chez *Pachygrapsus marmoratus* que « les caractères acquis sous l'influence de la Sacculine le sont définitivement et (que) rien ne semble pouvoir les modifier même après la mort du parasite ». Nous pensons que l'action féminisante persiste parce que les glandes androgènes de l'hôte, qui avaient disparu sous l'action du parasite, n'ont pu régénérer.

(Institut de Biologie générale de la Faculté  
des Sciences de Nancy)

---

PLANCHE II. — Stades de dégénérescence de la glande androgène (g) de *Carcinus* parasité par la Sacculine.

- A. : canal déférent (cd) et glande androgène (*in toto*) d'un individu indemne.
- A'. : idem en coupe.
- B. : canal déférent et glande androgène hypertrophié d'un animal parasité.
- B'. : idem en coupe.
- C. - D. - E. : stades successifs de la dégénérescence de la glande androgène (*in toto*) de Crabes parasités ; e. : enveloppe de la glande.
- C'. - D'. - E'. : idem en coupe.
- E''. : reliquat de la glande E' à un grossissement plus fort.
- F. : coupe du canal déférent et de la glande androgène d'un jeune *Carcinus* parasité. La glande est encore au stade embryonnaire (les figures A, A', B, B', C, D, E, E' sont à la même échelle ; C', D', E'' et F à un grossissement plus fort).

BIBLIOGRAPHIE

- BALESDENT et VEILLET. — *Bull. Soc. Sci. Nancy*, 1958, **17**, 28-30.
- CÀROLI. — *Pubbl. Staz. Zool. Napoli*, 1917, **2**, 177-189.
- CHARNIAUX-COTTON. — *Bull. Soc. Zool. de France*, 1957, **82**, 193.  
*C.R. Ac. Sci.*, 1958, **246**, 2817.  
*Bull. Soc. Zool. Fr.* 1959 a, **84**, 105.  
*C.R. Ac. Sci.*, 1959 b, **249**, 1580.
- DEMEUSY et VEILLET. — *C.R. Ac. Sci.*, 1958, **246**, 1104.
- GIARD. — *Bull. Sc. Fr. Belg.*, 1887, **18**, 1-28.
- GRAF. — *Bull. Soc. Sci. Nancy*, 1958, **17**, 223-261.
- NOUVEL. — *C.R. Ac. Sci. Paris*, 1940, **210**, 266.
- SPITSCHAKOFF. — *Z. wiss. Zool.*, 1912, **100**, 109-209.
- VEILLET. — *Ann. Inst. Océan. Monaco*, **22**, 193-341.  
*Bull. Soc. Sci. Nancy*, 1958, **17**, 200-203.
- VEILLET et GRAF. — *C.R. Ac. Sci.*, 1958 a, **246**, 3188.  
*Bull. Soc. Sci. Nancy*, 1958 b, **18**, 123-127.
- VERNET-CORNUBERT. — *C.R. Ac. Sci.*, 1958, **247**, 1402.
-

## SEANCE DU 11 FEVRIER 1965

Ouverte à 17 h. 05, cette séance est placée sous la présidence de M. le Professeur WERNER. Celui-ci, après avoir transmis les excuses de MM. HELLUY, CAMO, VINEY et MASIUS, présente les candidatures de M. PELT (maître de conférences à la Faculté de Pharmacie : parrains, M. ANZIANI et M<sup>lle</sup> FRANÇOIS), de M. HAYON (assistant à la Faculté de Pharmacie : parrains, M. ANZIANI et M<sup>lle</sup> FRANÇOIS), de M. le Professeur STEPHAN (parrains, M. et M<sup>me</sup> LEGAIT).

M. MAUBEUGE rappelle quelles sont nos actuelles difficultés financières et indique que malgré un avis favorable du Conseil inter-départemental, le Conseil général de la Moselle a refusé la subvention sollicitée.

L'ordre du jour appelle en premier lieu la communication de MM. DESCOUTURELLE et FRENTZ intitulée « Microhétérogénéité des fractions protéiques de l'hémolymph de *Carcinus maenas* L. décelée par l'étude de leur mobilité électrophorétique en gel de gélose ».

M. MAUBEUGE présente deux communications intéressant des points particuliers de ses études géologiques dans le Jura suisse septentrional ; l'une, intitulée « Problème des faunes cosmopolites dans le Jurassique méso-européen : absence d'espèces d'ammonites américaines dans le Jura suisse septentrional », rappelle la réalité et l'intérêt de ces faunes cosmopolites mais montre que l'espèce américaine signalée en Suisse est en réalité une forme géante européenne bien connue ; l'autre communication, intitulée « Coupe géologique continue dans le Jurassique inférieur du Jura tabulaire d'Argovie », souligne l'intérêt exceptionnel de cette coupe qui permet d'utiles comparaisons avec la France et le fossé alsacien.

M. FRANCE-LANORD, conservateur au Musée Lorrain, traite dans une conférence très écoutée et illustrée de très nombreuses photographies en couleurs du problème de la fabrication, de la corrosion et de la conservation des bronzes dorés antiques.

Grecs et Romains utilisaient déjà une technique de dorure soigneusement mise au point ; cependant, il apparaît que ce sont ces minces feuilles d'or appliquées sur le bronze qui sont partiellement responsables de la dégradation des statues ; la corrosion due à l'anhydride sulfureux présent dans l'atmosphère des villes ajoute ses effets. Il semble jusqu'à présent qu'aucun moyen de protection n'est entièrement efficace. L'application de vernis qui, le plus souvent, n'ont qu'une durée limitée, donne aux statues un aspect quelquefois catastrophique. Finalement, il ne reste qu'à isoler les statues dans un musée et de remplacer l'original par une copie. L'exposé de M. FRANCE-LANORD rappelle plus spécialement les efforts faits pour conserver les célèbres chevaux de Venise et nous montre que l'archéologie n'est plus actuellement réduite simplement à collectionner des antiquités.

Divers échanges de vues et demandes de précisions ont lieu avec l'assemblée.

La séance est levée à 19 h.

---

## SEANCE DU 11 MARS 1965

La séance est ouverte à 17 heures.

M. le Professeur WERNER, qui préside cette séance, présente les candidatures de MM. DUPREZ (assistant au laboratoire d'Embryologie de la Faculté de Médecine), BURLET (assistant au laboratoire d'Histologie de la Faculté de Médecine) et de M<sup>me</sup> FLOQUET (assistante au Laboratoire d'Histologie de la Faculté de Médecine) : parrains, M. le Professeur et M<sup>me</sup> LEGAIT, et adresse ses félicitations à M. le Doyen URION et M. le Professeur STEINMETZ, promu dans l'ordre du Mérite Agricole. Les candidatures présentées à la séance précédente donnent lieu à la proclamation de ces personnes comme membres associés.

Les excuses de notre Président, M. le Professeur P. FLORENTIN, MM. VEILLET, FRENTZ, URION, VINEY, M<sup>lle</sup> FRANÇOIS sont transmises.

M. PELTIER présente en premier lieu un exposé intitulé « Energie et matière » dans lequel il s'efforce de démontrer que sous certaines conditions, la physique de LORENTZ et d'EINSTEIN est compatible avec la mécanique de GALILÉE et de NEWTON. L'auteur est alors amené à envisager une conception nouvelle de l'atome qu'il se propose de développer ultérieurement.

M. Abdul Habib DEL, professeur à la Faculté de Médecine de Kaboul, adresse à notre Société par l'intermédiaire de M<sup>lle</sup> le Professeur BESSON, le résultat de ses recherches sur « L'action hypotensive de la salive chez le chien ». Cette action, observée après injection intra-veineuse, semble devoir être attribuée à une enzyme libérant dans le sang une substance vaso-dilatatrice.

Dans une conférence très écoutée, M. le Professeur LIENHART analyse les bases scientifiques des théories de LYSSENKO, dont on a appris récemment par un communiqué de la « Pravda » en date du 4 février 1965, la destitution de son poste de directeur de l'Institut de génétique soviétique.

Il rappelle en premier lieu que l'affaire LYSSENKO a débuté en fait avec les travaux de MITCHOURINE ; ce jardinier du tzar avait obtenu en greffant des arbres fruitiers, des races résistantes au climat russe et pensait avoir créé de la sorte des espèces nouvelles et stables. LYSSENKO, agronome réputé, dès ce moment, avait apporté une caution scientifique aux observations de MITCHOURINE. Par la suite, après le décès de MITCHOURINE en 1935, LYSSENKO adapta en U.R.S.S. un procédé de grande portée en agronomie, la vernalisation ; la germination et la conservation à basse température des graines de céréales, qui étaient déjà utilisées en Europe, donna en Russie des résultats pratiques importants. Ce succès apporta à LYSSENKO une très grande notoriété. Reprenant alors les expériences de greffes de MITCHOURINE, dont le résultat pratique fut de couvrir de vergers et de potagers des terres russes au nord du cercle polaire, LYSSENKO annonça également la création d'espèces nouvelles et donna de ses résultats une interprétation lamarckienne.

Quoique de nombreuses critiques s'élevèrent contre cette interprétation théorique en Europe occidentale d'abord, puis en Russie, l'appui dont bénéficiait LYSSENKO auprès du pouvoir politique, qu'il s'agisse de STALINE ou de KROUCHTCHEV, lui permit de maintenir sa position théorique pendant de nombreuses années. Mais lors du départ de son dernier protecteur, les critiques se firent à nouveau entendre ; il apparaît actuellement que les bases de la théorie de LYSSENKO sont insuffisantes et ne permettent pas de donner une explication convenable du mécanisme de l'évolution et de la genèse des espèces.

Divers échanges de vue ont lieu dans l'assemblée avec l'orateur.

La séance est levée à 19 heures.

## TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS DU TOME V

---

- DR ABDUL HABIB DEL. — L'action hypotensive de la salive chez le chien, N° 4, pp. 255-257.
- BALESDENT Marie-Louise. — Recherches sur la sexualité et le déterminisme des caractères sexuels d'*Asellus aquaticus* Linné (Crustacé isopode), N° 2, pp. 1-231.
- BESSON S., VILLEMIN G. — Etude de la liaison de l'histamine au cuivre et au nickel par la réaction à l'o-phthalaldéhyde, N° 1, pp. 79-82.
- BOLFA J., BABKINE J., REITHLER J.C., ZELLER C. — Le magnétisme des roches, N° 4, pp. 186-211.
- BOUILLON E. — Quartzites taillées et grattoir-burin en silex paléolithiques à Flavigny-sur-Moselle, N° 4, pp. 286-294.
- BURG Constant. — Retombées atomiques et pollution atmosphérique, N° 4, pp. 131-139.
- CÉZARD Robert. — Orobanchacées : I. Culture expérimentale, N° 4, pp. 279-285.
- DEBAZAC E.F. — Morphogenèse et sexualité chez les Pinacés, N° 4, pp. 212-228.
- DESCOUTURELLE G., FRENTZ R. — Technique d'étude quantitative de l'hémolymphe de *Carcinus maenas* L. par électrophorèse en gel de gélose, N° 3, pp. 89-98.
- DESCOUTURELLE G., FRENTZ R. — Microhétérogénéité des fractions protéiques de l'hémolymphe de *Carcinus maenas* L. décelée par l'étude de leur mobilité électrophorétique en gel de gélose, N° 4, pp. 229-236.
- FLORSCH Gérard. — Traitement des informations astrophysiques contenues dans le rayonnement stellaire par la photométrie monochrome, N° 1, pp. 21-31.
- FLORENTIN P., HERZOG B. — Considérations récentes sur le déterminisme des métastases dans le cancer, N° 1, pp. 83-92.
- FLORENTIN P., CHARDOT C. — Le problème des cancers latents : perspectives actuelles, N° 4, pp. 140-151.
- KAPLAN Alexandre. — XV<sup>e</sup> Congrès international d'Astronautique de Varsovie, N° 4, pp. 168-185.
- LEGAIT F., LEGAIT H., MERCIER J.M. — Recherches histoenzymologiques sur le lobe intermédiaire de l'hypophyse, N° 1, pp. 32-63.

- LIENHART R. — L'hérédité du type de pigmentation des lapins dits papillons, n° 3, pp. 38-52.
- LIENHART R. — A propos des théories de Lyssenko, N° 4, pp. 267-276.
- LIENHART R. — En souvenir de M. le Chanoine Maurice Manquat (1877-1964), N° 4, pp. 277-278.
- MAUBEUGE Pierre L. — Sur l'âge de la couche supérieure de la Mine de Saizerais (Meurthe-et-Moselle), N° 1, pp. 83-96.
- MAUBEUGE Pierre L. — Quelques documents ichnologiques du trias et jurassique lorrains et suisses, N° 1, pp. 97-103.
- MAUBEUGE Pierre L. — L'indice de pétrole de Coussey (Vosges), N° 3, pp. 99-102.
- MAUBEUGE Pierre L. — Un contact Rhétien-Hettangien dans le Grand Duché de Luxembourg, N° 3, pp. 123-127.
- MAUBEUGE Pierre L. — Quelques observations sur le Bajocien dans le Jura suisse septentrional, N° 4, pp. 237-242.
- MAUBEUGE Pierre L. — Le problème des faunes cosmopolites dans le Jurassique meso-européen : absence d'espèces d'Ammonites américaines dans le Jura suisse septentrional, N° 4, pp. 243-246.
- MAUBEUGE Pierre L. — Une coupe géologique continue dans le Jurassique inférieur du Jura tabulaire d'Argovie (Suisse), N° 4, pp. 247-254.
- OTH D., ROBERT J., BURG C. — Méthode de mesure de la radiosensibilité des tumeurs solides. Application à des phénomènes de synergie entre agents pharmacologiques et Rayons X, N° 4, pp. 152-167.
- PELTIER Jean. — Energie et matière, N° 4, pp. 258-266.
- PIERRE Jean-François. — Quelques diatomées marines des eaux douces et saumâtres de Lorraine, N° 1, pp. 17-20.
- PIERRE Jean-François. — Aperçu récent sur la recherche algologique en Lorraine, N° 3, pp. 53-88.
- ROOS F., SIEST G. — Etude des complexes colorés donnés par les dérivés guanidiques avec les dicétones, N° 3, pp. 24-37.
- ROYER R. — Les substances à action antialcool, N° 1, pp. 69-78.
- URION F. — Les acides nucléiques. Clef de toute vie, N° 3, pp. 3-23.
- VEILLET A. et GRAF F. — Inversion sexuelle et glande androgène chez quelques crustacés, n° 4, pp. 295-308.
- VILLEMIN G. — Réactions colorées de l'histamine avec l'o-phthalaldéhyde. Utilisation pour son dosage, N° 1, pp. 64-68.
- WERNER R.G. — La gonidie marocaine du *Ramalina usnea* (L.) R.H. Howe, N° 1, pp. 3-16.
- WERNER R.G. — Une union singulière dans le monde végétal, N° 3, pp. 103-122.
-