

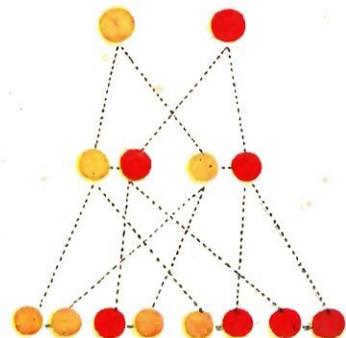
**SCIENCE**  
**et VIE**

200 Fr.

NUMÉRO HORS-SÉRIE  
**LE MONDE VIVANT**



COMTE ←



**TOUS LES MOIS...**

*Par ses grandes enquêtes  
Ses reportages exclusifs  
Ses actualités du monde entier,*

**SCIENCE  
et VIE**

informe l'homme et la femme modernes  
des découvertes et des progrès  
de tous les jours qui bouleverseront demain  
leurs conditions d'existence.

**100 FRANCS**

# LE MONDE VIVANT

## SOMMAIRE

★ QU'EST-CE QUE LA VIE? .....	2
★ COMMENT ONT ÉVOLUÉ LES FORMES VIVANTES .	9
★ LA GÉNÉTIQUE : SCIENCE DE L'HÉRÉDITÉ .....	30
★ GÉNÉRATION, CROISSANCE, VIEILLISSEMENT, MORT	36
★ LA VIE A LA CONQUÊTE DE LA TERRE .....	50
★ DES ACTES RÉFLEXES AUX ACTES INTELLIGENTS.	89
★ L'HOMME ET SES ANCÊTRES .....	104
★ L'HOMME ASSERVIT LA NATURE .....	134
★ LA BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE .....	145

**NOTRE COUVERTURE :** *Pour ce numéro hors série, SCIENCE ET VIE a fait appel au talent de l'illustrateur Pierre COMTE dont la composition originale évoque divers aspects de l'histoire de la Vie sur la Terre, avec quelques, unes des formes qui en ont marqué les jalons : Ammonites, Reptiles géants, le Coelanthe, fossile vivant, Insectes, Plantes supérieures à fleurs ; à droite, le graphique stylisé de l'hérédité. Le buste central de la Vénus de Naples veut symboliser à la fois l'Humanité, terme supérieur de l'évolution de la Vie, et la fécondité de la Nature.*

### ABONNEMENTS

	France et Union Fr <sup>ce</sup>	Étranger	Benelux et Congo belge
un an. ....	1 000 fr.	1 400 fr.	200 fr. belges
avec envoi en recommandé . . . .	1 400 fr.	1 900 fr.	
<b>Abonnement comprenant en plus</b>			
les 4 numéros hors série . . . . .	1 650 fr.	2 200 fr.	375 fr. belges
— recommandé. . . . .	2 200 fr.	2 900 fr.	

Changement d'adresse, poster la dernière bande et 30 fr. en timbres-poste.

**Administration, Rédaction :** 5, rue de La Baume, Paris-8<sup>e</sup>. Tél. : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS  
**Adresse télégraphique :** SIENVIE Paris. — **Publicité :** 2, rue de La Baume, Paris-8<sup>e</sup>. Tél. Elysées 87-46.  
 Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by SCIENCE ET VIE. Juin 1956.

# QU'EST-CE QUE LA VIE?

## Matériaux de base et cycles vitaux

LE monde des formes vivantes montre une extraordinaire variété, depuis l'algue unicellulaire jusqu'aux fleurs des prairies, aux arbres des forêts, aux insectes innombrables, aux géants des mers et des continents. Sous cette diversité évidente, les êtres vivants cachent une non moins frappante unité de composition : ils sont tous formés de *cellules* dont la structure demeure dans ses grandes lignes invariable : une membrane enfermant une sorte de gelée colloïdale et, dans cette gelée, des inclusions diverses dont la plus caractéristique est le noyau. Il en est d'énormes, comme l'œuf de poule chargé de matières nutritives ; d'autres se distinguent encore à l'œil nu, tels certains Infusoires, mais la plupart sont microscopiques. Les organismes supérieurs sont formés d'un nombre considérable de telles cellules : le corps humain en groupe plus de cent milliards.

### Les éléments primordiaux

La cellule apparaît donc comme l'unité de base des êtres vivants ; les organismes sont des sociétés de cellules, dont chacune mène sa vie propre en coopérant à celle de l'ensemble. Leurs formes sont extrêmement variées, mais on retrouve encore une remarquable unité dans la structure chimique de leurs constituants. La vie construit l'infinie richesse des formes qu'elle anime à l'aide d'un nombre très restreint d'éléments : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et, plus accessoirement, le phosphore et le soufre. Il est classique d'évoquer le rôle capital du fer, du magnésium, du chlore et du sodium, du calcium, du potassium, et de souligner l'importance des éléments rencontrés à dose infinitésimale (les « oligo-éléments ») tels que zinc, manganèse, cobalt, fluor, etc. ; mais il s'agit déjà de fonctions, non plus de structures.

Que produit la vie à partir de ce petit nombre d'éléments ? Comment opère-t-elle ? Toute la biochimie se profile derrière ces questions.

### Pas de vie sans protéines

Parmi les édifices moléculaires caractéristiques de la matière vivante, il est commode de distinguer les trois groupes classiques : glucides, lipides et protéides. Les *glucides*, comme le sucre ou l'amidon, ne contiennent que du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène ; ce sont avant tout des réserves d'énergie pour la vie qui l'utilise pour ses synthèses. Les *lipides*, comme les huiles et les graisses, comportent en principe les mêmes éléments, mais leur structure est plus complexe : ils jouent un rôle de réserve, d'ailleurs peu utilisé, et, par leur caractère hydrofuge, règlent souvent les échanges entre la matière vivante et le milieu ambiant. Enfin, les *protéides*, comme le blanc d'œuf ou l'albumine, composés quaternaires de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote, avec parfois du soufre et souvent du phosphore, sont les éléments distinctifs de ce qui vit, et l'on a pu dire que « s'il n'y a pas de protéines sans vie, il n'y a pas non plus de vie sans protéines ».

Au sein de la matière vivante en perpétuel remaniement, tous les constituants de la cellule sont constamment détruits et reformés. Les molécules ne sont qu'un point culminant, mais éphémère, dans la complexité du cycle du métabolisme où les éléments simples, puisés dans le milieu extérieur, y sont ultérieurement restitués.

La molécule protéique ne fait pas exception à cette règle, mais on a acquis la conviction qu'elle dirigeait toutes les activités. S'agit-il de construire, le squelette ? C'est une protéine, l'osséine, qui dépose le phosphate tricalcique dans ses mailles. S'agit-il d'apporter aux tissus l'oxygène ? C'est un pigment ferro-protéique qui s'en charge : l'hémoglobine. Faut-il véhiculer à travers les organes aliments, déchets, médicaments ? Ceux-ci sont pris en charge par les protéines du milieu circulatoire. L'être vivant est-il l'objet d'une agression par un germe pathogène ? Alors apparaît une protéine toute spéciale dont la

structure s'apparente étroitement à celle de l'agresseur et en neutralise les effets : l'anticorps. S'agit-il de régler harmonieusement le fonctionnement organique, de contrôler la croissance? Les hormones protéiques entrent en jeu. Faut-il assurer dans toute l'échelle des êtres vivants les multiples fonctions du métabolisme? Interviennent les molécules géantes, hautement spécialisées, que sont les distases ou enzymes, biocatalyseurs dont le support est toujours protéique. S'agit-il d'assurer la reproduction, c'est-à-dire à la fois la pérennité et la fixité des caractères de chaque individu? Apparaît alors le rôle primordial des nucléo-protéines constituant les éléments porteurs de l'hérédité : les gènes.

### La faculté de synthèse des molécules protéiques

L'intérêt qui s'attache à ces molécules d'une architecture extraordinairement complexe et précise vaut qu'on s'y arrête un instant. Elles peuvent être regardées comme des mosaïques édifiées à partir d'un nombre limité d'éléments de base, les acides aminés dont on a dénombré à peine plus d'une vingtaine. Ce sont des composés relativement simples que le chimiste sait reproduire par synthèse et qui, se soudant les uns aux autres pour former de longues chaînes, donnent des molécules géantes d'une diversité pratiquement illimitée; divers lipides, glucides, accessoires vitaminiques ou organo-métalliques les rendent aptes aux fonctions plus haut évoquées. Les nucléo-protéines, les plus grosses des protéines cellulaires, sont constituées d'une série de telles mosaïques rattachées à un noyau portant le nom d'acide nucléique.

C'est à ce degré de complication qu'apparaît, selon les conceptions récentes, la faculté de synthèse des diverses protéines spécifiques, y compris les nucléoprotéines elles-mêmes, c'est-à-dire la *faculté d'autoduplication*. Le mécanisme demeure encore obscur, mais on peut concevoir que les corps chimiques, simples ou déjà compliqués, épars dans le milieu ambiant, s'orientent au contact de la nucléoprotéine jusqu'à ce que soit constitué une molécule semblable qui s'en détache alors, le métabolisme fournissant l'énergie nécessaire. Il s'est produit une sorte de copie ou de moulage reproduisant fidèlement les plus infimes détails du premier édifice.

Peut-être ne s'agit-il que d'une vue de l'esprit, mais la valeur explicative de la théorie est indéniable. Prenons, par exemple, le bactériophage parasite du colibacille. On le considère comme une grosse nucléoprotéine à base d'une variété d'acide nucléique appelée acide désoxyribonucléique. Ce bactériophage pénètre

dans le colibacille et, une vingtaine de minutes plus tard, celui-ci éclate et libère des centaines de bactériophages. Le bactériophage s'est indubitablement multiplié, donc il s'est formé de l'acide désoxyribonucléique. Or la bactérie n'en contient pas (son acide nucléique est de l'acide ribonucléique) et le bactériophage, dépourvu totalement de métabolisme, est incapable de toute synthèse. Il faut donc qu'obligeant son hôte à dévier ses synthèses, il lui ait emprunté ses propres matériaux pour l'induire à faire, non de l'acide ribonucléique bactérien, mais l'acide désoxyribonucléique qui lui est propre. Sa seule présence a entraîné l'induction, qui s'explique aisément en

### COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE L'ORGANISME HUMAIN, EN %

Oxygène	66,0	} 93,7	} 99,9
Carbone	17,5		
Hydrogène	10,2		
Azote		} 100	
Calcium			
Phosphore			
Potassium			
Sodium			
Chlore			
Soufre			
Magnésium		} 0,1	
Fer			
Zinc			
Cuivre			
Manganèse			
Nickel			
Cobalt			
Aluminium			
Titane			
Bore			
Iode			
Arsenic			
Plomb			
Etain			
Molybdène			
Vanadium			
Silicium			
Brome			
Fluor			

attribuant à sa molécule de nucléoprotéine la faculté d'autoduplication.

Il est aisé d'imaginer un processus analogue pour la formation des protéines cellulaires, et en particulier pour la duplication des gènes ; éléments gardiens des caractéristiques héréditaires de l'être, ils se retrouvent, en principe, semblables dans les millions de cellules d'un individu — lesquels résultent toutes de la division de la cellule initiale qu'est l'œuf fécondé — et, à travers les cellules reproductrices, dans toutes celles de ses descendants. Molécule autoduplicatrice, la nucléoprotéine ne peut que donner indéfiniment des produits semblables à elle-même et, molécule héréditaire, elle confère ce caractère à la protéo-synthèse qu'elle commande. Voilà, sans doute, pourquoi chaque espèce d'individu possède ses protéines propres, d'une architecture particulière. Voilà pourquoi l'être vivant est obligé de démolir au préalable les protéines qu'il se propose d'assimiler, jusqu'au stade des constituants de base que sont les acides aminés, pour rebâtir une seule et même protéine : la sienne. Donnez de la viande de cheval ou de bœuf à un chien, il n'en fera que de la viande de chien. C'est aussi le processus de la continuité germinale, de la stabilité des espèces.

### De la matière inerte à la vie

Cette propriété d'autoreproduction a pu être considérée par certains auteurs comme la caractéristique essentielle de la vie, mais cette interprétation est loin de faire l'unanimité. La définition de la vie soulève des problèmes délicats et aucune des formules proposées jusqu'ici n'est apparue entièrement satisfaisante. Même si l'on s'en tient à la conception purement mécaniste, qui cherche à expliquer les phénomènes vitaux élémentaires par des actions physicochimiques obéissant aux mêmes lois que celles de la matière inerte, il est difficile de préciser le seuil où s'amorcent les premières manifestations incontestablement vitales.

Pendant longtemps la coupure paraissait nette entre les formes les plus simples de la matière vivante, les bactéries, et les composés chimiques du monde matériel. La découverte des virus-protéines, constitués par des molécules nucléoprotéiques analogues à celles des particules du noyau cellulaire, et dont plusieurs sont cristallisables, a ouvert des horizons nouveaux. Ces entités ultramicroscopiques, dont les dimensions vont de 10 à 400 millimicrons (un millimicron est un millionième de millimètre) et que leurs effets pathologiques ont permis de déceler, sont capables de se multiplier. On est ainsi tenté de voir en

## Le cycle du carbone

L'atmosphère terrestre contient 0,03 % de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Il est assimilé lors de la synthèse chlorophyllienne par les végétaux verts de la terre et de l'océan. Il est restitué à l'atmosphère par la respiration animale et végétale et lors de la décomposition des cadavres et des déchets. De nouvelles quantités de gaz carbonique sont introduites dans l'atmosphère par les combustions industrielles (bois et combustibles fossiles : tourbe, lignite, houille, pétrole) et par les volcans.

elles la forme la plus élémentaire de la vie et de faire disparaître, à l'échelle moléculaire, la frontière nette entre monde vivant et monde matériel.

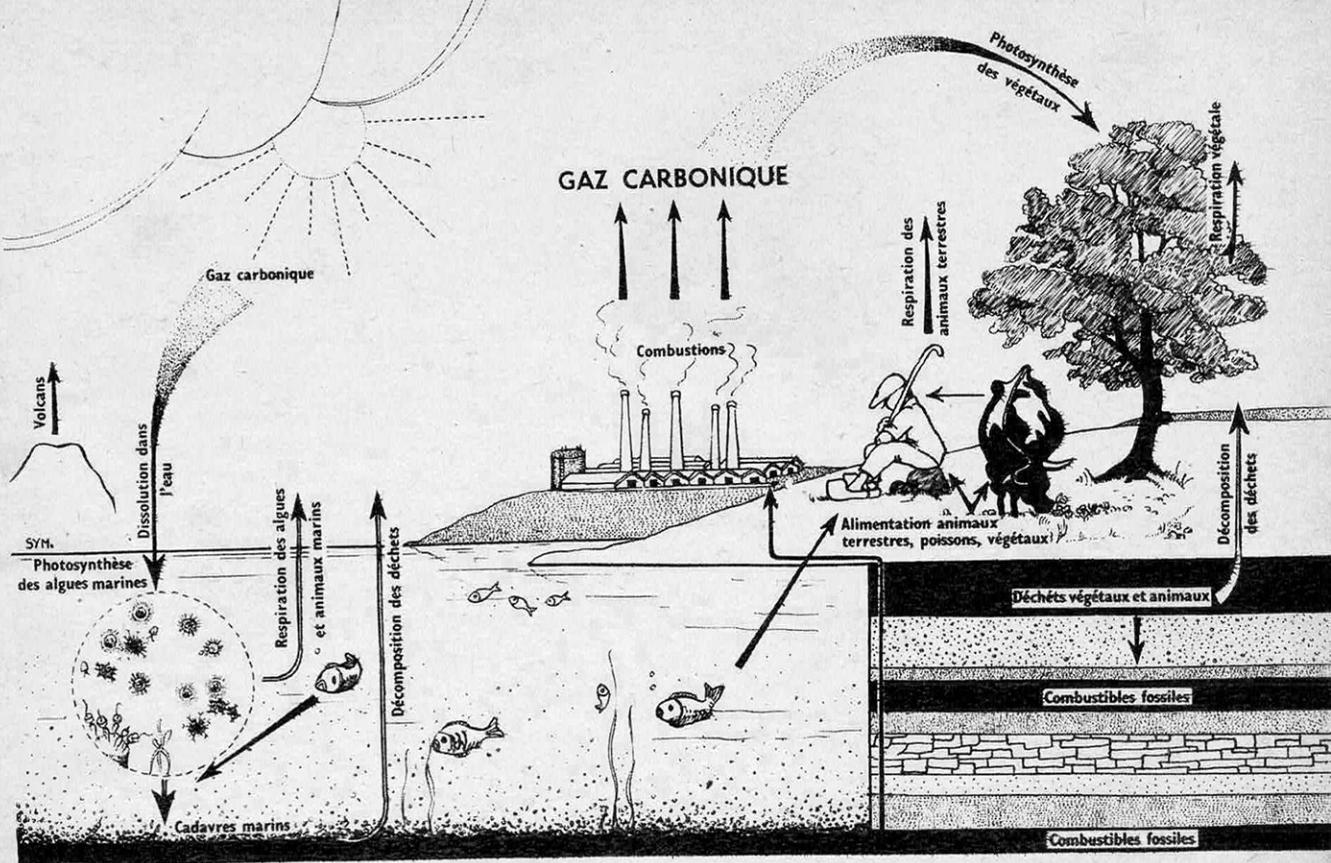
Mais on n'a pas manqué de faire observer que ces ultra-virus ne manifestent leur faculté d'autoreproduction que dans des conditions bien particulières. Comme le bactériophage, ils ne peuvent se multiplier dans un milieu inerte, même pas dans une cellule morte. S'ils ne font qu'emprunter leur faculté d'autosynthèse à la vie des cellules qu'ils habitent, il est alors difficile de les qualifier eux-mêmes de vivants.

En fait, le corps de la cellule la plus simple, de la bactérie la plus élémentaire, manifeste toujours un degré d'organisation infiniment supérieur. Si, malgré l'énorme difficulté de la tâche, les chimistes gardent toujours l'espoir de parvenir un jour à créer de toutes pièces des protéines et même des nucléoprotéines (les chimistes américains H.-L. Fraenkel et R. Williams ont annoncé, il y a quelques mois, qu'ils avaient reconstitué une nucléoprotéine « vivante », au sens des virus, à partir des éléments « morts » de sa dissociation préalable, acide nucléique et protéine), il existe un abîme actuellement infranchissable entre la molécule, si complexe soit-elle, et la cellule la plus rudimentaire.

C'est à l'organisation à l'échelon de la cellule que semblent effectivement liées les propriétés essentielles du vivant.

Pour le virus, assimiler c'est seulement se reproduire par duplication dans une étroite dépendance de l'hôte auquel il emprunte matériaux et énergie ; si l'on veut voir en lui la forme la plus simple de la vie, cet être monomoléculaire constitue un précieux moyen d'étude, qui doit aider à résoudre le problème de l'origine de la matière vivante (1). Mais l'activité cellulaire manifeste un dynamisme que l'on peut dire supérieur ; constamment la

(1) Voir l'ouvrage : « Aux confins de la vie, perspectives sur la biologie des virus », par P. Morand (Masson, éditeur).



cellule absorbe les matériaux extérieurs et expulse les déchets de son métabolisme en des échanges incessants qui assurent la permanence de son individualité et, par sa division, la continuité de sa lignée.

### L'assimilation : la fixation du carbone

Le problème de l'assimilation, pris à sa base, se ramène à la fixation, par les êtres vivants, des corps simples du monde minéral. Parmi les principaux, le carbone, l'oxygène et l'hydrogène s'y présentent sous forme de composés : gaz carbonique et eau ; l'azote se trouve à l'état d'élément libre dans l'atmosphère.

Le lien du métabolisme vivant avec la matière est assuré principalement par les végétaux verts et les bactéries du sol et de l'eau. C'est un fait bien connu que les plantes vertes, aériennes et aquatiques, fixent pendant le jour du gaz carbonique et rejettent de l'oxygène (acte inverse de la respiration) ; elles retiennent le carbone, et l'on a établi que cette fixation se faisait au niveau d'organites intracellulaires, les chloroplastes, eux-mêmes bourrés d'un pigment vert bien connu : la chlorophylle, chimiquement voisin de l'hémoglobine, mais contenant du magnésium. Avec ce carbone, elles élaborent des glucides, d'abord des sucres simples comme le glucose, puis

plus complexes comme le sucre ordinaire de canne à sucre, éventuellement de l'amidon et de la cellulose. Dans son Introduction à la Biochimie générale (1), Marcel Florkin indique que l'ensemble des végétaux verts de la terre et de l'océan assimile annuellement quelque 80 millions de kilogrammes de gaz carbonique enlevés à l'atmosphère.

### La fixation de l'azote

La fixation de l'azote atmosphérique est le fait exclusif des premiers échelons de la matière vivante : les bactéries et quelques algues vertes. Les nodules qui poussent sur les racines des légumineuses contiennent, on le sait, des micro-organismes qui vivent en symbiose avec la plante, recevant d'elle les produits carbonés et fixant pour elle l'azote gazeux. Mais dans les sols vivent, libres, des quantités énormes de bactéries qui en font autant, soit en présence de l'oxygène (azotobacter), soit en son absence (clostridium). On a cité le cas d'une ferme de Finlande qui, pendant 22 ans, sans apport d'engrais azoté, a pu produire annuellement, avec 38 hectares, 4 tonnes d'avoine, 3 tonnes de blé, 25 tonnes de pommes de terre, 45 tonnes de betteraves fourragères, nourrir 25 vaches et 20 veaux, produire 4 000 litres

(1) Masson, éditeur.

de lait et 190 kg de beurre, en fixant par an 250 kg d'azote atmosphérique à l'hectare.

On ne connaît guère le mécanisme de base de cette fixation, mais on a des raisons de croire qu'intervient une diastase activée par des traces de molybdène ou de vanadium, et également, dans le cas des nodosités, un curieux pigment rouge voisin, lui aussi, de l'hémoglobine. La fixation du corps résultant sur les chaînes carbonées des glucides conduit aux acides aminés, qui sont, comme nous l'avons vu, les pierres de la mosaïque protéique ; leur cyclisation aboutit aux bases azotées des acides nucléiques. Ajoutons que les produits de dégradation des matières organiques azotées sont réutilisés par les micro-organismes qui, sous forme de nitrates ou d'ammoniaque, les font rentrer dans le cycle.

### Les cycles vitaux

Il importe de souligner l'étroite solidarité des êtres vivants de tous ordres au sein de ce qu'on a pu appeler la « biosphère », c'est-à-dire l'enveloppe pénétrée de vie qui entoure l'écorce terrestre, et sur laquelle insiste Marcel Florin dans l'ouvrage précédemment cité.

Dans le sol vivent de nombreux organismes complexes (vers, insectes, etc.) à côté d'innombrables bactéries. Les végétaux y puisent l'eau et les sels minéraux, empruntant le gaz carbonique à l'air pour réaliser leurs synthèses chlorophylliennes grâce à l'énergie solaire. Ils servent d'aliments aux animaux herbivores, eux-mêmes dévorés par les carnivores, et le résultat de l'activité chlorophyllienne revient à l'atmosphère sous forme de gaz carbonique produit par la respiration des êtres vivants, et à la terre sous forme de produits d'excrétion, de cadavres de plantes et d'animaux. Les bactéries de la putréfaction ramènent les atomes organisés par la matière vivante à l'état de molécules inorganiques que reprendront les végétaux.

Il en est de même dans l'océan. Les végétaux marins trouvent dans leurs eaux nitrates et phosphates, prennent le gaz carbonique provenant de l'atmosphère qui s'y est dissous, et élaborent leurs synthèses grâce à l'énergie solaire pénétrant dans la masse des eaux. Alors que l'épaisseur de terre colonisée par les organismes ne dépasse pas quelques décimètres, la « prairie marine » peut aller jusqu'à 150 m, sous la forme non seulement des herbiers côtiers, mais aussi de la masse énorme du plancton végétal qui couvre l'océan. Ces algues microscopiques sont les aliments des larves du plancton animal, elles-mêmes la proie des animaux marins carnivores. Les cadavres qui descendent vers les profondeurs sont minéralisés par les bactéries marines,

## Le cycle de l'azote

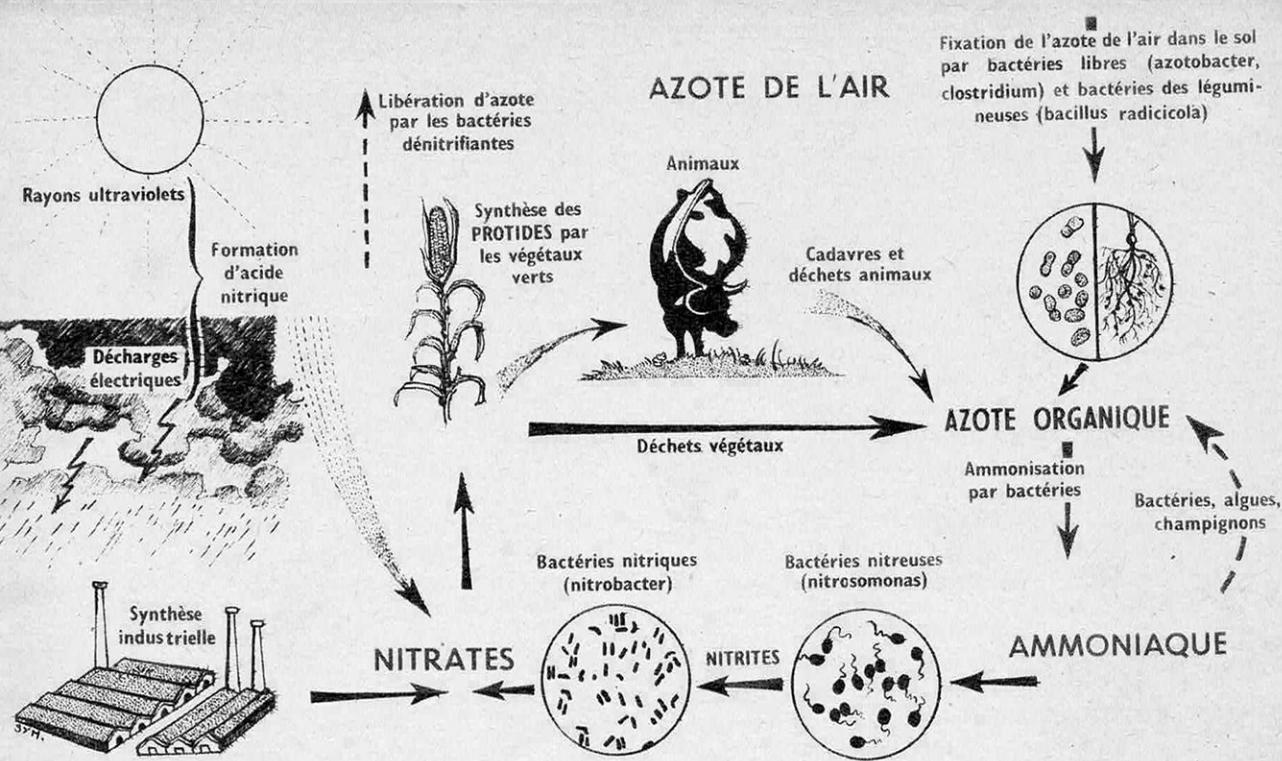
Le cycle de l'azote dans la nature comprend essentiellement la synthèse des matières protéiques par les végétaux verts et leur dégradation par les microbes. Les protéines élaborées par les végétaux sont utilisées par les animaux herbivores, eux-mêmes dévorés par les carnivores, et les déchets animaux et végétaux sont minéralisés par les bactéries pour donner successivement de l'ammoniaque, des nitrites et enfin des nitrates qui sont repris par les plantes. L'azote atmosphérique pénètre dans le cycle au stade des nitrates (synthèse industrielle ou acide nitrique dû à l'action des ultraviolets ou des décharges orageuses) et surtout de l'azote organique, par l'action synthétisante des bactéries libres du sol et des bactéries des légumineuses. Une partie des nitrates est décomposée par les bactéries dénitrifiantes. L'ammoniaque et les sels ammoniacaux peuvent être directement utilisés par les végétaux ou par certaines bactéries, des algues et des champignons.

nitrates et phosphates étant ramenés en surface par des courants marins pour regarnir les couches superficielles et entretenir leur activité biologique.

Le monde vivant tout entier, de la plante, être esclave, à l'homme, être libre, de la cellule isolée à l'organisme le plus compliqué, du monstre marin des grandes profondeurs à l'oiseau le plus agile, repose sur le travail des germes fixateurs de l'azote atmosphérique et sur celui du végétal, capteur d'énergie solaire. Les êtres apparaissent étroitement solidaires : les uns préparent les protéines pour les synthèses complexes, les autres élaborent les réserves énergétiques des glucides. Le monde vivant n'est qu'un immense ensemble de dépendances que l'on peut considérer comme un « continuum vital ».

### La Terre et la Vie

On a pu dire de la vie qu'elle n'était qu'une petite moisissure sans importance sur un astre de vingt-cinquième ordre. Sans doute est-ce là le point de vue de Sirius. Pour nous, Terriens, cette petite moisissure est chose capitale et, même en chassant toute idée de finalisme, nous ne pouvons que nous émerveiller de trouver réunies sur notre globe tant de conditions favorables à son épanouissement. Comme l'a remarqué Gérard Piel, c'est par un concours de circonstances heureuses que la Terre tourne autour du Soleil à la bonne distance, et ainsi qu'elle n'est pas, comme Mercure, trop chaude, ni comme Pluton, trop froide ; que la fine couche d'atmosphère qui l'entoure a juste l'épaisseur et la composition qui conviennent pour laisser passer les longueurs d'ondes qui assurent les processus



vitaux et arrêter celles qui détruiraient les vivants ; que cette atmosphère est propice à la respiration, avec azote et oxygène en justes proportions, contrastant avec l'atmosphère étouffante de gaz carbonique de Vénus ou celle de méthane et d'ammoniaque de Jupiter ; que la Terre est abondamment pourvue d'eau, répandue généreusement à sa surface, laissant peu de territoires arides. Faut-il s'étonner alors qu'après des milliards de révolutions autour du Soleil, la Terre se trouve grouiller d'une vie prodigieusement variée ?

Le fait que les conditions physiques actuelles se prêtent à l'existence des êtres vivants qui nous sont familiers, dans le règne végétal comme dans le règne animal, est, certes, remarquable, mais il n'a aucune valeur explicative quant à l'origine même de ces êtres. On peut considérer que ces conditions sont nécessaires à la vie telle que nous l'observons, mais rien n'indique qu'elles soient suffisantes pour la provoquer. On admet plutôt aujourd'hui le contraire, depuis les expériences de Pasteur sur la génération spontanée. Or la paléontologie, qui refait l'histoire des vivants par l'analyse de leurs restes fossilisés, a montré que la Terre était habitée depuis une époque très reculée par des organismes qui, en remontant le cours des âges, montrent une organisation de plus en plus primitive, bien que toujours complexe. Elle suggère l'hypothèse que la vie a dû exister à l'origine sous des formes encore plus simples, bactéries ou algues bleues, et même, au-delà, molécules géantes des virus-protéines,

cela à une époque où les conditions physiques à la surface de la Terre différaient profondément des conditions actuelles.

### La naissance de la Vie

Le problème de la genèse de la vie se pose sur deux plans, le plan métaphysique et le plan scientifique qui, contrairement à ce que l'on croit trop souvent, ne se contrarient nullement. L'essence même des choses échappera toujours à la connaissance scientifique, mais il appartient au physicien comme au biologiste d'étudier le monde tel qu'il s'offre à eux. Prenant pour base le fait de son existence, il leur est légitime, dans le cas particulier qui nous occupe, de chercher à établir un lien de l'inanimé au vivant, lien qui pourra, lorsqu'il sera fermement assis, fournir un élément nouveau pour les spéculations métaphysiques qui, par définition, échappent au savant.

Les théories présentées jusqu'ici pour expliquer la création de la vie par les seules actions physicochimiques sont parfaitement hypothétiques. La plus séduisante est celle de Dauvillier et Desguin, dont nous n'indiquerons que les grandes lignes.

Pour autant qu'on puisse préjuger des faits séparés de nous par au moins deux milliards d'années, on imagine que la Terre, d'abord masse gazeuse, puis devenue rigide par refroidissement a atteint à cette époque un stade où, sous une atmosphère de gaz carbonique, d'azote, de vapeur d'eau, les océans se trouvaient saturés d'ammoniaque, de gaz carbo-

nique et de diverses substances organiques engendrées par l'action photochimique des rayons ultraviolets de courte longueur d'onde provenant du Soleil. Ceux-ci n'étaient pas stoppés dans leur traversée de l'atmosphère qui ne contenait pas d'oxygène libre, donc pas d'ozone. Ainsi pouvait s'opérer la synthèse de l'acide formique, point de départ des composés ternaires (carbone, oxygène, hydrogène) du type glucides, réserve future d'énergie, puis de l'amide formique, point de départ des composés quaternaires (carbone, oxygène, hydrogène, azote) aboutissant aux acides aminés, source future des protéines. Des polymérisations successives, des captations d'éléments divers auraient finalement donné naissance à des molécules géantes formant des bancs de matières organiques gélatineuses flottant à la surface des mers sucrées et chaudes. L'oxygène libéré dans ces réactions aurait donné, sous l'action des ultraviolets de courte longueur d'onde, la mince couche d'ozone qui, dans la haute atmosphère, constitue un écran continu arrêtant les rayons mêmes qui l'ont fait naître et interdisent la synthèse ultérieure de ce qu'on hésite à appeler la « matière vivante » primitive.

On peut alors concevoir que, de la gelée protéique indifférenciée, auraient émergé les nucléoprotéines douées du pouvoir d'auto-duplication et pouvant seules désormais effectuer la synthèse de nouvelles protéines. C'est au stade de ces structures précellulaires apparentées aux virus qu'apparaît la première manifestation d'hérédité.

Il n'y a plus qu'à imaginer que ces nucléoprotéines se sont entourées d'une couche de molécules orientées formant une membrane qui, une face étant hydrophile et l'autre hydrophobe, s'est refermée sur elle-même, pour voir se constituer les premières cellules. Par la suite, grâce à l'acquisition d'équipements divers, récepteurs d'énergie et catalyseurs, les organismes virent s'ouvrir devant eux, comme l'a dit Cuénot (1), « les deux voies royales dans lesquelles s'engagera l'Évolution : celle des bactéries synthétisantes et des végétaux verts ; celle des animaux, des bactéries et des plantes sans chlorophylle ».

La suite est parfaitement connue et renferme, il faut le dire, une part d'hypothèse beaucoup moins forte : de l'être pluricellulaire à l'homme, le chemin est plus court que du virus à l'être monocellulaire.

### Existe-t-il d'autres mondes vivants ?

Si l'on accepte cette suite audacieuse d'hypothèses, qui n'est pas sans soulever nombre d'objections majeures, on est conduit à se

demander si les mêmes phénomènes ne se sont pas déjà produits ou ne sont pas en train de se produire sur d'autres astres.

Tout le monde matériel est édifié à l'aide des quelque 92 éléments présentés sur la Terre. Parmi les milliards d'étoiles qui errent dans l'univers, on admet aujourd'hui qu'un grand nombre entraînent des systèmes planétaires analogues au système solaire, et il est à peu près évident qu'une planète doit, à un moment donné, passer par une phase de température propice aux synthèses vitales, qui pourront s'opérer si les conditions de rayonnement reçu sont remplies. Rien ne prouve alors que, sur ces astres lointains, l'évolution suive ou ait suivi les mêmes voies que sur la Terre.

Toutes les spéculations sont permises. On a pu envisager « des mondes sans créatures pensantes, d'autres où la vie a pu se développer uniquement dans les océans, d'autres où l'intensité de la pesanteur a pu poser des problèmes de structure tout différents ». Les distances qui nous séparent des étoiles sont telles que nous n'en saurons jamais rien.

### Du monde matériel à la conscience

Tenter d'expliquer toutes les manifestations vitales en termes d'actions physicochimiques est la tâche légitime du savant qui constate que la matière est la condition de la vie, qu'aucun élément n'existe dans le vivant qui ne se trouve dans le monde matériel, que la vie à l'échelle microscopique apparaît de plus en plus comme un mode d'organisation de la matière, à vrai dire tout à fait exceptionnel, où les remarquables propriétés de l'atome de carbone jouent un rôle de premier plan. Ces conceptions mécanistes se sont déjà montrées très fécondes et on leur doit des découvertes capitales.

Parviendront-elles un jour à tout expliquer, même ce que l'on peut appeler les manifestations « psychiques » des êtres vivants ?

On a pu les mettre en évidence jusque chez certains êtres unicellulaires, sous une forme rudimentaire. Tout au long de l'échelle animale, on les voit se préciser et se développer pour aboutir, chez l'homme, à la conscience. A tous les échelons, un corps vivant est plus qu'une association de cellules par millions, c'est une unité individualisée, autonome, dotée d'un psychisme plus ou moins développé. La pensée qui émerge ainsi progressivement de la vie animale en est un attribut essentiel.

Sans doute faudra-t-il encore longtemps pour mettre en évidence le lien entre les phénomènes physicochimiques et la perception consciente, si tant est que ce problème comporte une solution.

Pierre MORAND

(1) « L'Évolution biologique » (Masson, éditeur).



**Les Machairodus**, félins à canines en lame de sabre, s'attaquaient aux pachydermes du Myocène.

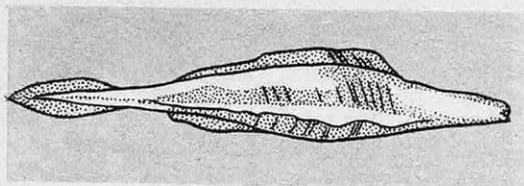
## COMMENT ONT ÉVOLUÉ LES FORMES VIVANTES

**T**OUT évolue dans l'univers, rien n'est stable. L'univers est un devenir incessant, et les êtres vivants n'échappent pas à cette loi générale. La science des fossiles, la paléontologie, en apporte les preuves incontestables. Elle fournit les repères qui permettent, avec une surprenante précision dans quelques cas, de retracer l'évolution historique et la filiation des formes vivantes depuis une époque très lointaine qui se chiffre en centaines de millions d'années.

Le premier problème qui se pose est celui de l'ancienneté de la vie sur notre globe, et pour cela il faut tout d'abord évaluer, au moins approximativement, l'âge de la Terre elle-même, ou plutôt celui des premiers éléments de l'écorce solide qui s'est formée lorsque la sphère gazeuse, qu'elle était à l'origine, s'est trouvée suffisamment refroidie. L'état de

désintégration des éléments radioactifs des roches permet cette évaluation.

On sait que l'uranium, qui est un élément très dispersé dans la croûte terrestre, se désintègre à une cadence absolument invariable ; sur un gramme d'uranium présent à une date donnée, il ne reste plus, au bout de 4,5 milliards d'années, qu'un demi-gramme, et si, dans l'intervalle, la roche où cet uranium s'est trouvé enfermé n'a pas subi de transformation profonde, on retrouve avec ce demi-gramme les produits terminaux de la désintégration : hélium et plomb 206 (un des isotopes du plomb ordinaire qui est un mélange de plomb 206, 207 et 208). Depuis le moment où ce gramme d'uranium a été inclus dans la roche, la proportion de plomb 206 par rapport à l'uranium a crû constamment. Pour déterminer l'âge d'une roche donnée, c'est-à-dire



**Le Jamoytius**, le plus primitif des vertébrés, dont les tout premiers fossiles que l'on connaisse remontent à l'époque primaire, au Silurien.

le temps qui s'est écoulé depuis sa formation, il suffit de mesurer le rapport de plomb 206 et d'uranium que renferme un échantillon.

D'après cette méthode, on a pu évaluer l'âge de la croûte terrestre, celui des roches les plus anciennes que l'on connaisse, à au moins trois milliards d'années. Par la même méthode ou par des méthodes analogues, on a pu préciser dans une certaine mesure la durée des temps géologiques et dresser le tableau ci-dessous.

On voit en particulier que la fin de l'Antécambrien remonte à 600 millions d'années, et que l'Antécambrien lui-même s'étend sur une période au moins double de celle qui s'est déroulée depuis le début du Cambrien jusqu'à nos jours. Or on peut affirmer que la vie existait dès l'Antécambrien, car on trouve dans certains dépôts datant de cette époque d'au-

thentiques restes végétaux et animaux. S'ils sont rares, c'est parce que ces roches ont été presque entièrement « métamorphosées », c'est-à-dire qu'elles ont subi, après leur dépôt, de profondes transformations sous l'action de la chaleur et de la pression ; les granites et les schistes cristallins ainsi formés ne peuvent plus recéler de fossiles, ceux-ci ayant disparu dans la masse.

### L'arbre généalogique du règne animal

Il est ainsi certain que l'évolution végétale et animale a commencé à se dérouler depuis près de deux milliards d'années, se diversifiant en grands groupes suivant des plans de structure particuliers. Les zoologistes reconnaissent, pour le règne animal, une trentaine de groupes qu'ils appellent « phylums » ou « clades » (du grec « clados », branche), depuis les Protozoaires jusqu'aux Vertébrés, en passant par les Spongiaires, les Cœlentérés, les Vers, etc.

On ne connaît à l'état fossile que les représentants d'une dizaine de ces clades, ceux qui possédaient un squelette interne ou externe, par exemple une coquille, susceptible de se fossiliser. Presque tous se rencontrent déjà à l'Antécambrien (Spongiaires, Cœlentérés, Brachiopodes, Mollusques, Echinodermes) : le plus ancien Vertébré date du Gothlandien.

AGE MINIMUM	DURÉE DES GRANDES PÉRIODES GÉOLOGIQUES	
	Temps écoulé de la fin du Quaternaire à nos jours : 8 500 à 10 000 ans.	
	<b>QUATERNAIRE</b>	
1 million d'années		
	<b>TERTIAIRE</b>	
	{ Pliocène .....	6 millions d'années
	{ Miocène .....	12 millions d'années
	{ Oligocène .....	16 millions d'années
60 millions d'années	{ Eocène .....	25 millions d'années
	<b>SECONDAIRE</b>	
	{ Crétacé .....	60 à 80 millions d'années
	{ Jurassique .....	20 à 35 millions d'années
	{ Trias .....	27 à 35 millions d'années
230 millions d'années	<b>PRIMAIRE</b>	
	{ Permien .....	35 à 40 millions d'années
	{ Carbonifère .....	70 à 80 millions d'années
	{ Dévonien .....	40 à 50 millions d'années
	{ Silurien } Gothlandien ..	30 millions d'années
	{ } Ordovicien ..	70 millions d'années
600 millions d'années	{ Cambrien .....	90 millions d'années
	<b>ANTÉCAMBRIEN</b>	
2 milliards d'années		1 400 millions d'années

Les clades constituent des groupes autonomes à structure déterminée et suivent une évolution particulière ; les biologistes se sont efforcés de découvrir leurs liens de parenté et de dresser une classification généalogique sous la forme imagée d'un arbre avec des branches et des feuilles. On voit page 12 celui proposé par le professeur Cuénot.

Il a la forme générale d'un Y et prend naissance dans une région obscure où la distinction entre le vivant et le non-vivant est difficile (ultravirus cristallisables). La base porte les Protistes d'où se détachent les branches végétales et les formes animales correspondant au premier clade des Protozoaires, animaux unicellulaires pouvant atteindre parfois une haute complexité. Un peu plus haut apparaît l'innovation biologique essentielle, l'association cellulaire qui donne naissance aux premiers Métazoaires (êtres pluricellulaires) dépourvus encore de système nerveux distinct, les Spongiaires. Ensuite, une seconde innovation importante donne naissance aux animaux à système nerveux diffus et possédant une cavité jouant le double rôle de cavité intestinale et générale : les clades des Cnidaires et des Cténophores (Cœlentérés des anciens zoologistes).

La bifurcation de l'Y correspond à une troisième nouveauté : la formation d'un intestin autonome, distinct des autres cavités du corps. Sur l'une des branches se placent le grand clade des Echinodermes, les petits clades des

Balanoglosses et des Ptérobanches, puis les Tuniciers, l'Amphioxus et enfin l'immense clade des Vertébrés, le plus récent de tous, dont l'Homme occupe le sommet.

L'autre branche de l'Y, indépendante de la précédente, porte beaucoup plus de clades : Platodes, Nématodes, Bryozoaires, Brachiopodes, Annélides, Mollusques, Arthropodes.

Cet arbre généalogique appelle quelques observations :

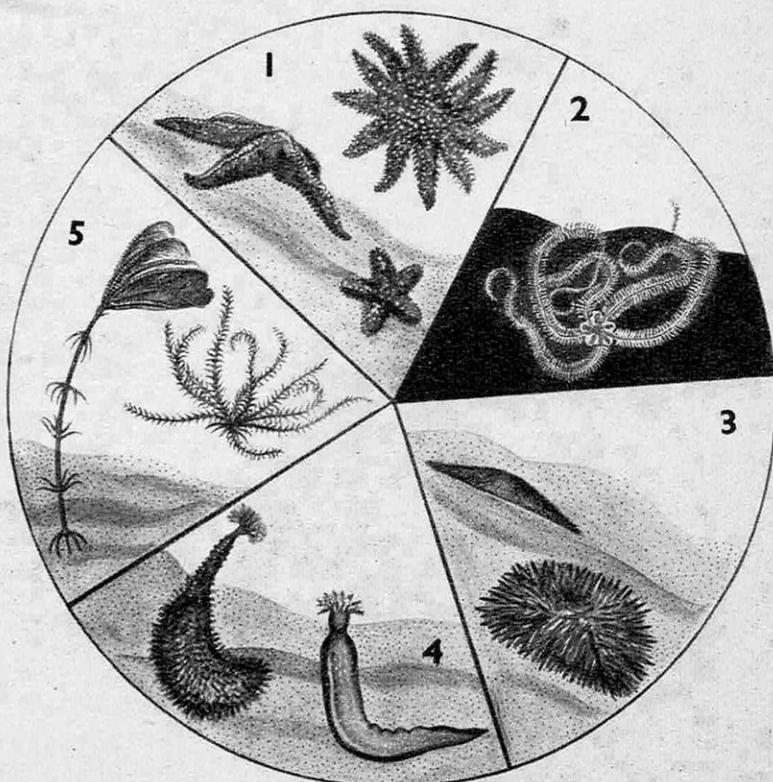
Tout d'abord, il faut souligner les profondes différences entre les deux branches. À droite, présence d'hémocyanine (pigment respiratoire renfermant du cuivre) et d'une carapace chitineuse ou d'une coquille externe ; à gauche, jamais d'hémocyanine et tendance à un squelette interne. La disposition du système nerveux est frappante : à droite, il est sous le tube digestif ; à gauche, il est au-dessus, disposé dorsalement. La branche de droite de l'Y pourrait s'appeler celle des « hyponeuriens », celle de gauche la branche des « épineuriens ».

On remarque également que la faune aquatique la plus ancienne est très riche. Elle a envoyé quelques types sur la terre, mais cette dernière est surtout habitée par les représentants des deux extrémités des branches de l'Y, c'est-à-dire par les Vertébrés (à partir des Batraciens) et par les Arthropodes munis de poumons ou de trachée (Arachnides, Mille-pattes et surtout Insectes). Des groupes terrestres ont dérivé quelques types aquatiques (Ser-

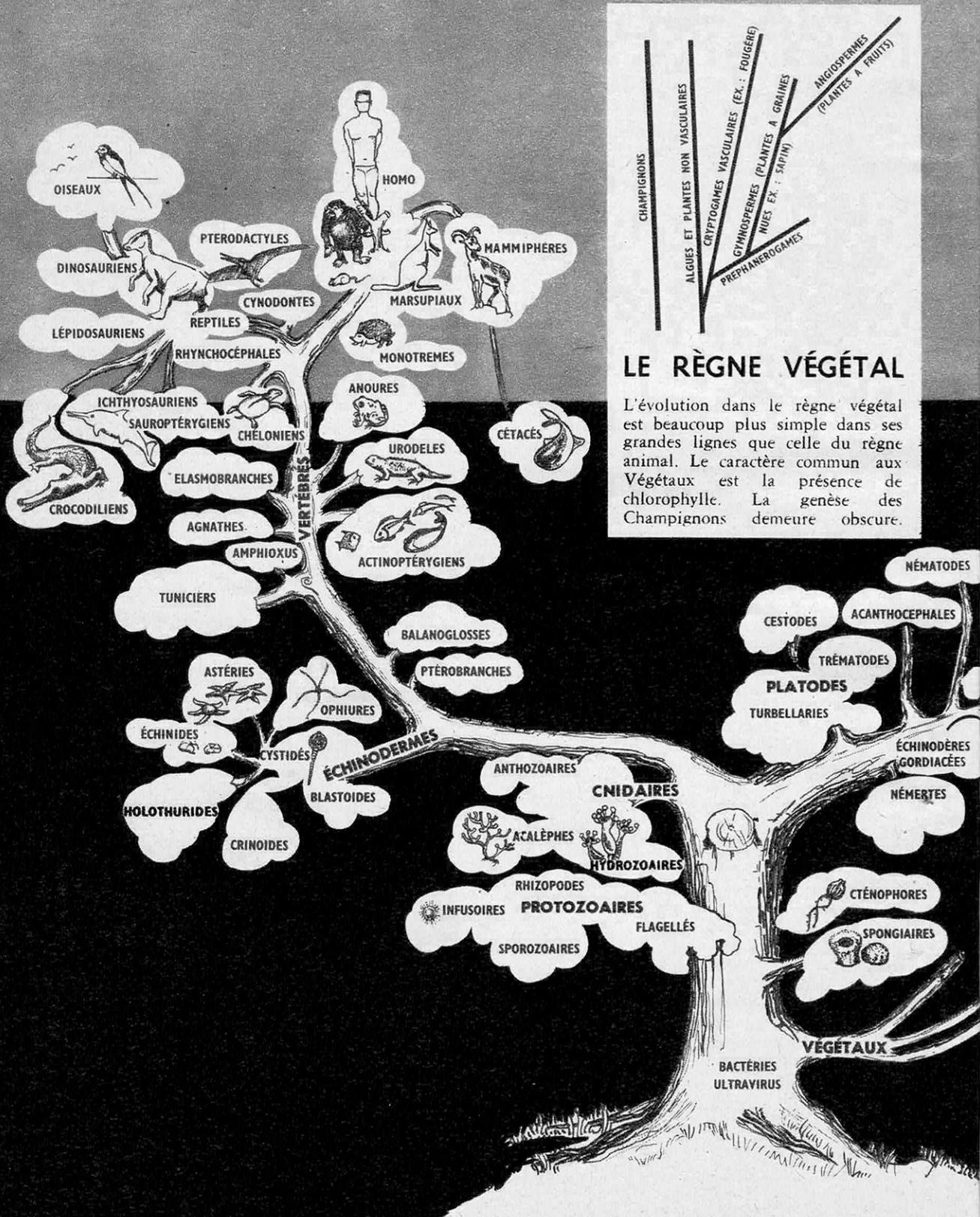
← **La vie animale et végétale** remonte au moins à l'Antécambrien car, dans les dépôts de cette époque, qui s'étale sur 1 400 millions d'années, on trouve déjà d'authentiques restes fossiles d'animaux et de végétaux.

**Les cinq classes** →  
**d'Echinodermes** ac-

tuellement existantes : (1) les Stellerides (Asterides ou étoiles de mer) ; (2) les Ophiurides (étoiles de mer à disque central) ; (3) les Echinides (oursins) ; (4) les Holothurides (holothuries) ; (5) les Crinoïdes (lys de mer, comatule). Toutes les autres classes, très développées aux temps géologiques, dès le Silurien, ont disparu.



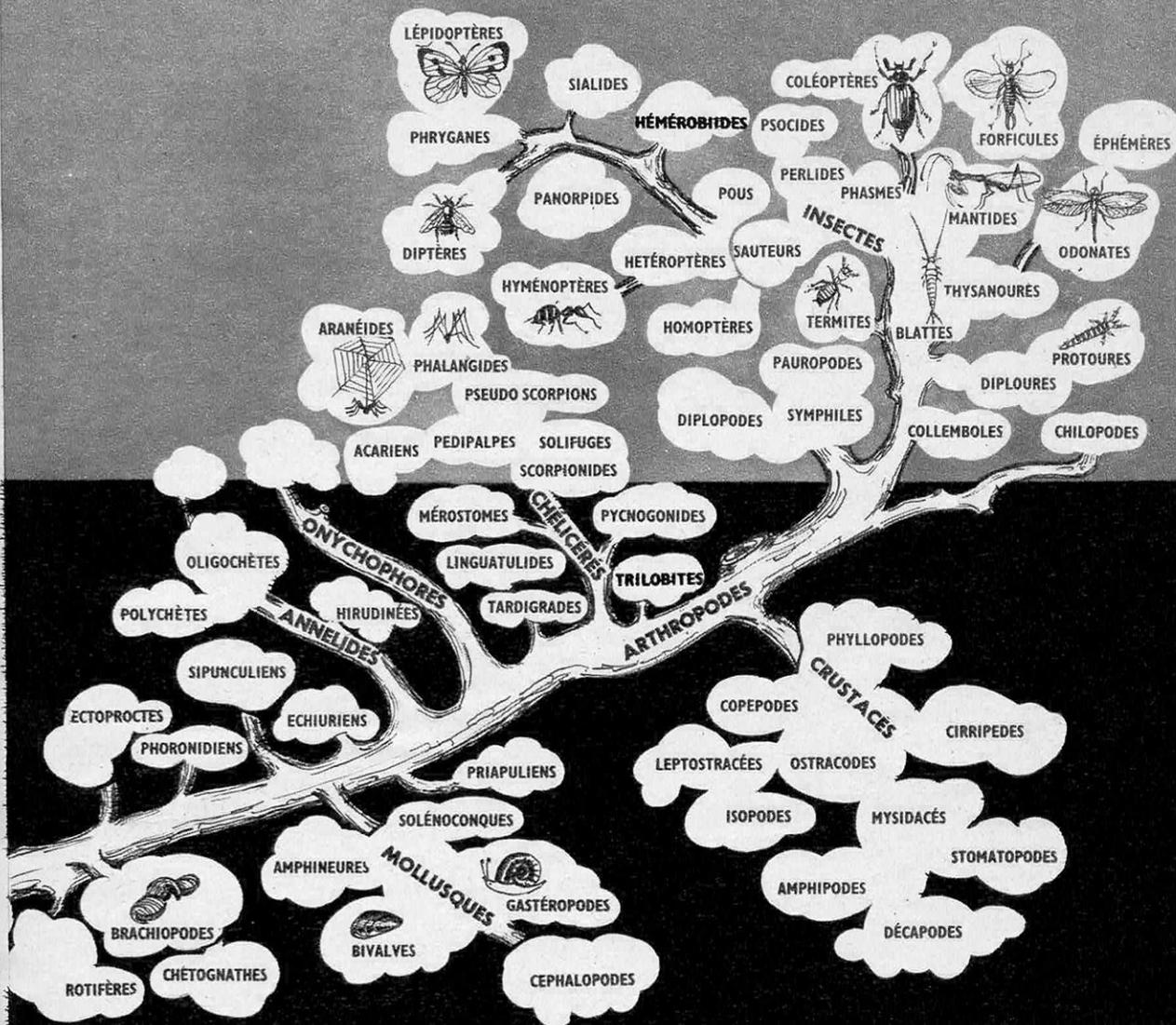
# L'ARBRE GÉNÉALOGIQUE



## LE RÈGNE VÉGÉTAL

L'évolution dans le règne végétal est beaucoup plus simple dans ses grandes lignes que celle du règne animal. Le caractère commun aux Végétaux est la présence de chlorophylle. La genèse des Champignons demeure obscure.

# DU RÈGNE ANIMAL



Cet arbre généalogique, inspiré de Lucien Cuénot (L'Évolution Biologique), donne une idée de l'état de nos connaissances sur la hiérarchie du règne animal. Il ne tient pas compte du facteur temps (les Arthropodes sont beaucoup plus anciens que les premiers Vertébrés). La ligne horizontale indique la séparation entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Pour simplifier, on n'a pas représenté le passage à la vie terrestre de certains Vers, Mollusques et Crustacés, ni le retour à la vie aquatique de quelques ordres comme les Mammifères Siréniens.

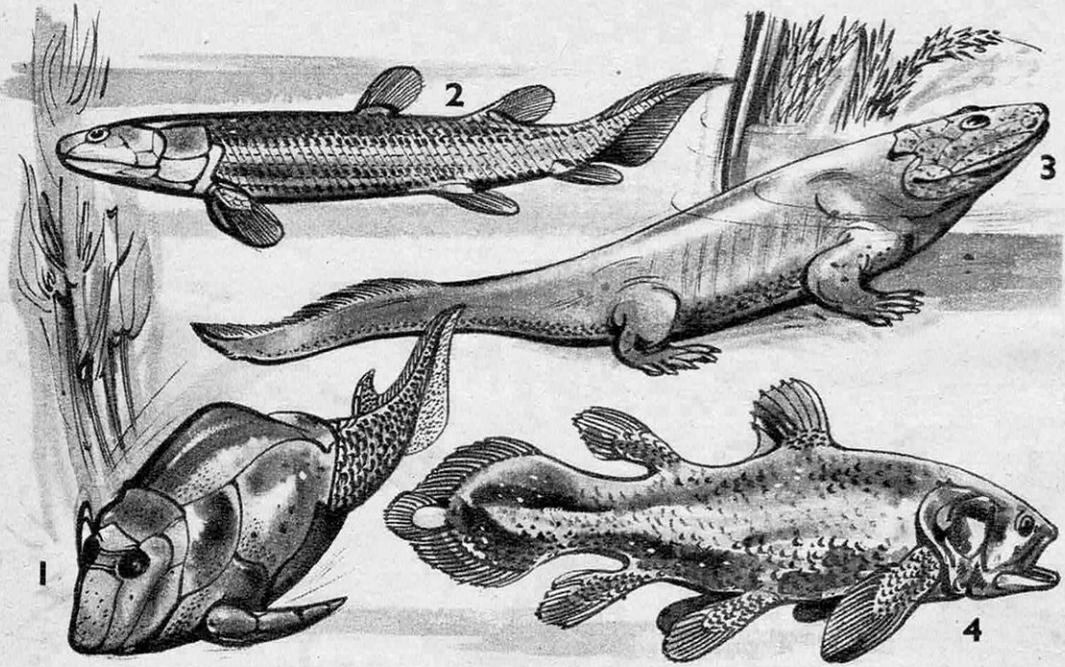
pents marins, Ichthyosaures, Plésiosaures, Tortues, Crocodiles, Cétacés, Siréniens).

Les deux extrémités des branches de l'Y se terminent par deux cladés : Vertébrés et Arthropodes supérieurs, possédant une respiration aérienne et une locomotion libre ; ils ont pris possession de la terre et conquis le domaine aérien. Ils manifestent au maximum les deux aspects de l'activité psychique : instinct et intelligence. Ce sont les groupes les plus récemment constitués, mais ils sont cependant très anciens : les premiers Vertébrés sont silu-

les seules parties vivantes, où l'évolution se poursuit avec une extrême lenteur.

### L'évolution dans le « clade »

Chaque groupe, chaque clade, apparaît comme l'épanouissement d'une espèce primordiale ou *archétype*. Aucun archétype n'est connu, tous datant probablement de l'Antécambrien, mais les spécialistes en ont reconstitué les grandes lignes. Une fois apparu, l'archétype se diversifie en classes, ordres, familles, espèces ; les individus se multiplient et.



**Quatre spécimens disparus :** (1) le *Pterichthyodes Milleri*, du Dévonien d'Ecosse ; sa cuirasse reste encore une énigme paléontologique ; (2) l'*Osteolepis*, dont l'extrémité amincie portait, en dessus et en dessous, une membrane natatoire ; (3) l'*Ichthyostega*, pourvu de membres marcheurs mais qui continua à mener une vie aquatique ; (4) le *Whiteix*, Cœlacanthidé rencontré au Trias inférieur.

riens et les premiers Arthropodes remontent à l'Antécambrien.

Depuis environ 500 millions d'années aucun type inédit n'est apparu. L'ère d'apparition des structures fondamentales est close. Comme le notait Cuénot, notre globe a eu sa période d'enfance (production de la vie), puis de jeunesse (intense production de formes) ; il est maintenant dans l'âge mûr dont l'événement le plus notable fut l'apparition de l'Homme au Quaternaire (et, au point de vue végétal, l'apparition des plantes à fleurs au Secondaire). Dans l'« arbre de vie », le tronc, le pétiole des feuilles ou base des cladés, sont morts depuis longtemps. Les extrémités sont

s'ils possèdent un squelette ou une coquille durs, leurs restes se fossiliseront.

Deux cladés, celui des Echinodermes et celui des Vertébrés, fort riches en fossiles, sont particulièrement instructifs.

Les Echinodermes fossiles existent depuis l'Antécambrien, mais leur diversification en 10 classes s'observe au Cambrien et surtout au début du Silurien. Actuellement, il ne reste plus que 5 classes, les autres se sont éteintes. Chaque classe constitue un groupe autonome fermé ; par exemple, à partir de l'archétype Oursin, apparu à l'Ordovicien, il ne se développe plus que des Oursins. Lorsqu'une classe s'éteint, elle disparaît définitivement.

### L'Archæopteryx.

seul oiseau connu du Jurassique (Secondaire). Par le plumage et la forme de sa tête, il était un véritable oiseau, mais son squelette gardait de nombreux caractères reptiliens. Une longue queue prolongeait la colonne vertébrale : inutile pour le vol, elle devait sans doute lui servir pour grimper. Sa structure anatomique, que montre ce fossile découvert en 1877 dans les schistes de Bleumemberg, devait lui permettre un vol se rapprochant davantage de celui de la chauve-souris que de celui d'un oiseau.



Cliché Muséum de Berlin.

Si l'épanouissement des Echinodermes a été relativement rapide, celui des Vertébrés s'est au contraire étiré dans le temps. Le plus primitif des Vertébrés connus est le *Jamoytius*, trouvé dans le Silurien supérieur d'Ecosse ; c'est une sorte de grand *Amphioxus* long de 18 cm, à peau nue. Puis viennent, dans l'ordre : les Poissons cuirassés sans mâchoire (Agnathes), les Poissons avec mâchoires (Placodermes), les Poissons cartilagineux et les Poissons osseux. A ce riche développement de Poissons, succède la conquête du milieu terrestre par les Poissons Crossoptérogens nés au Dévonien et les Stégocéphales, premiers animaux à quatre membres dont les descendants actuels constituent la classe des Amphibiens et dont les stades larvaires sont encore aquatiques. Puis, au Permien, les Stégocéphales engendrent les Reptiles bien adaptés à la vie terrestre. Enfin, de certains Reptiles (Ictidosauriens) dérivent les Mammifères, alors que d'autres Reptiles (les Pseudosuchiens) donnent naissance aux Oiseaux.

Chaque classe a ainsi connu sa période d'épanouissement, les Stégocéphales au Primaire, les Reptiles au Secondaire, les Mammifères et les Oiseaux au Tertiaire. D'autre part, des crises provoquent la disparition de classes ou de familles ; la plus importante, à la fin du Crétacé, correspond à l'extinction des grands Reptiles (sur 25 ordres, 5 seulement subsistent aujourd'hui).

Le clade des Vertébrés fournit quelques exemples de formes de passage d'une classe à l'autre, ou tout au moins, s'il ne s'agit pas des véritables formes de passage, d'espèces certainement fort proches. Ainsi les *Ichthyostega* du Dévonien supérieur du Groenland relient les Poissons Crossoptérogens aux Amphibiens du Carbonifère ; les Reptiles Ictidosauriens du Trias présentent dans leur squelette de nombreux caractères qui annoncent les Mammifères. L'*Archæopteryx* constitue une forme de passage entre certains Reptiles et les Oiseaux ; par les plumes et la tête, c'est un oiseau, mais le squelette est encore très repti-

lien ; des dents sont implantées dans les mâchoires et la colonne vertébrale se prolonge par une longue queue, rappelant celle des Lézards bien que garnie de plumes. L'*Archæopteryx* est un véritable Oiseau, bien que sa structure anatomique ne dût pas lui permettre un vol identique à celui des Oiseaux actuels ; son comportement ressemblait peut-être davantage à celui de la Chauve-Souris. La longue queue, inutile pour le vol, pouvait être utilisée pour le grimper.

### Epanouissement et extinction

L'histoire des différents groupes suit les mêmes lignes générales : apparition plus ou moins « explosive », épanouissement et diversification, diminution et enfin extinction, à moins que quelques espèces, comptant un petit nombre d'individus à distribution restreinte, ne subsistent jusqu'à nos jours, formant ce qu'on appelle les « reliques » ou « fossiles vivants ».

Ainsi les fossiles des Mammifères montrent que le groupe commence par de petites espèces non spécialisées, probablement peu exigeantes et capables de vivre dans des milieux biologiques variés. Ces espèces renferment en puissance les caractères des formes qui en descendront. Mais les spécialisations de plus en plus poussées restreignent les possibilités ; les espèces ne peuvent plus quitter le milieu auquel elles s'adaptent étroitement ; du point de vue évolutif, elles s'engagent dans des impasses. Les Cétacés, les Siréniens, formes aquatiques dérivées de Mammifères terrestres, ne semblent plus avoir d'avenir évolutif.

Lorsque les formes existantes vont peupler un nouveau milieu, on observe la naissance d'une nouveauté organique qui leur permet d'envahir la place libre. C'est ainsi que les nageoires paires de certains poissons Crossopétrigiens se transformèrent pour donner la patte à doigts des Stégocéphales, ancêtres de tous les animaux terrestres à quatre membres. Le passage de la nageoire à la patte constitue une révolution organique indispensable pour occuper le milieu terrestre, de même que l'établissement d'une respiration proprement aérienne et d'une circulation compatible avec le nouveau mode respiratoire.

La vie du clade est plus ou moins prospère, les uns comptent seulement quelques groupes alors que d'autres sont florissants ; mais sa durée est toujours immense : tous les clades qui ont pris naissance à l'Antécambrien ou au Primaire sont encore représentés aujourd'hui.

Plusieurs faits annoncent la prochaine disparition d'un groupe. Le nombre d'espèces et de genres diminue, comme si le « potentiel



American Museum of Natural History.

***Tupaia chrysurus*** ou « écureuil braillard ». Cet insectivore arboricole préfigure les premiers ancêtres des Primates. L'une de ses différences avec l'écureuil réside dans son museau. Ses principaux habitats sont les forêts du Sud-Est de l'Asie, Chine méridionale, Malaisie, Philippines.

vital » s'épuisait. De plus, les individus atteignent une grande taille. Ce gigantisme constitue un handicap sérieux lorsque les milieux ambiants se modifient ou lors de l'arrivée d'un nouvel occupant qui se révèle être un concurrent. Les grandes formes sont désavantagées par leur poids, leurs besoins nutritifs, la lenteur de leur croissance et de leur reproduction ; elles sont donc plus facilement éliminées par les petites races moins exigeantes. Les végétaux présentent des faits analogues ; les grandes formes arborescentes du groupe des Prêles et des Sélaginelles ont disparu au profit des formes herbacées des mêmes groupes.

Les causes profondes de l'extinction des grands groupes demeurent obscures. Les modifications du milieu, les restrictions de nourriture entraînant une diminution de fécondité ; les épidémies, les batailles avec les Carnassiers ont certes exercé une action, mais secondaire.

(Suite page 20)

***Sphenodon punctatum***, seul survivant de formes reptiliennes très abondantes au Trias (Secondaire). Actuellement cantonné dans quelques îlots de la Nouvelle-Zélande, il creuse des terriers qu'il partage avec des Pétrels. Proie favorite d'un faucon, il est en voie de disparition.



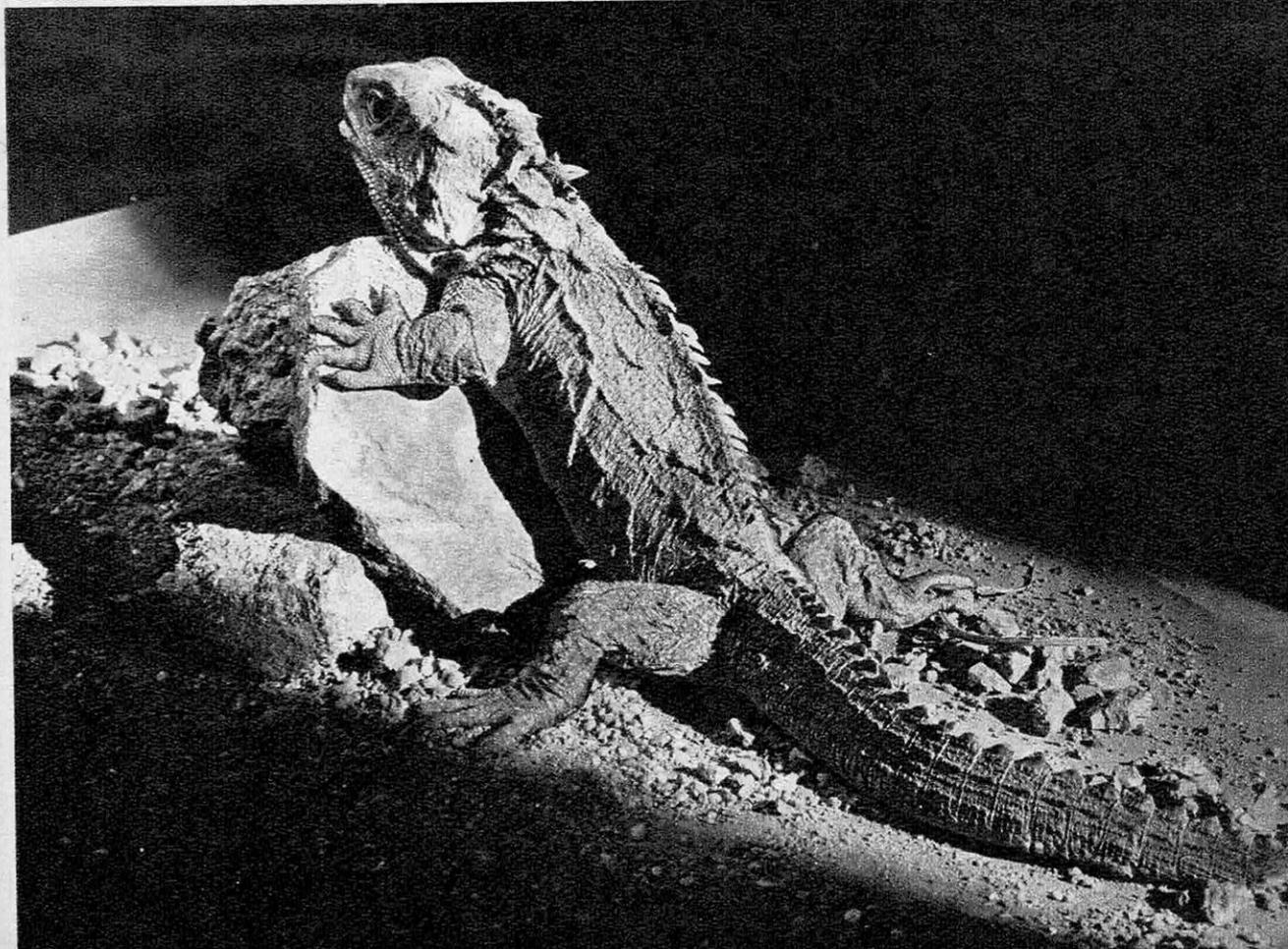
Atlas Photo.

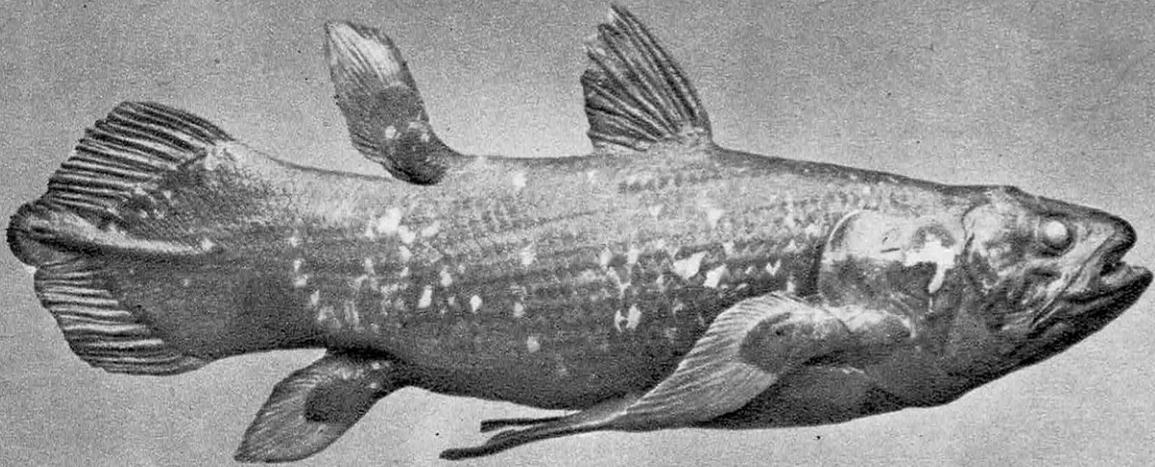
**Opisthocomis hoazin.** Cet oiseau d'Amérique du Sud (Brésil), aussi curieux de mœurs que d'aspect, est considéré comme une relique d'un type avien très primitif. Les ailes sont munies de deux doigts dont il se sert pour monter aux arbres avec l'agilité d'un singe.



**Nautilus :** dernier survivant des Mollusques Céphalopodes tétrabranches qui eurent leur apogée au Silurien. Il vit par 50 à 70 mètres de fond dans le Pacifique. Le premier Nautilus vivant fut observé lors d'une expédition du Challenger en 1873. Sa coquille fait 0,20 m de diamètre.

American Museum of Natural History.





Photographie du Museum National d'Histoire Naturelle.

**Coelacanth mâle** adulte, en attitude naturelle. Les mâles mesurent de 1,30 à 1,40 mètre de long, et les femelles, plus grandes, de 1,60 à 1,80 m. On notera, sur cette photographie inédite, l'allure générale du poisson — la forme particulière de la queue, très large, à peine distincte du corps portant un petit prolongement terminal — le revêtement des grosses écailles imbriquées — les nageoires au nombre de 7 : une paire de pectorales (latéro-antérieures), une paire de pelviennes

(ventrales, à demi cachées par les précédentes) et trois nageoires impaires : une dorsale antérieure, une dorsale postérieure et une anale (ventrale postérieure). Fait remarquable, ces différentes nageoires sont de deux types. La dorsale antérieure représente la disposition habituelle chez les poissons actuels; les autres sont portées par un pédoncule écailleux qui est sans équivalent chez les autres poissons, pédoncule que l'on peut considérer comme l'ébauche des membres des Vertébrés aériens.

## Le Coelacanth et l'évolution des vertébrés

**L**E Coelacanth (*Latimeria Chalumnae* Smith) est devenu le plus célèbre des animaux.

Il appartient au grand groupe des Poissons fossiles dits Crossoptérygiens que l'on croyait entièrement éteint depuis de nombreux millions d'années. Autrefois largement répandu dans les mers du globe, il semble, à notre époque, strictement localisé aux eaux marines profondes bordant l'archipel des Comores, dans l'Océan Indien.

L'émotion provoquée par sa découverte n'est pas près de s'apaiser. Les Coelacanthes ont en effet une valeur scientifique hors de pair du fait qu'ils représentent, de beaucoup, les plus anciens des Vertébrés ayant vécu jusqu'à nous, et qu'ils constituent un matériel sans égal pour l'étude de l'évolution des animaux supérieurs. Ils peuplaient déjà notre planète alors qu'aucun des autres Vertébrés que nous connaissons maintenant n'existait encore à la surface de la terre. En outre, au cours des âges, alors que le reste du monde se transformait profondément autour d'eux, ils ont fait preuve d'une stabilité organique telle que l'espèce actuelle diffère à peine de ses ancêtres du Dévonien, dont on a retrouvé les empreintes dans les roches de plus de 350 millions d'années.

Ayant conservé d'importantes structures de nos plus lointains ancêtres, ils constituent des reliques

d'une valeur inestimable qui nous permettent de saisir sur le vif certains processus évolutifs qui n'avaient pu jusqu'alors être que supposés.

Parmi les particularités anatomiques les plus instructives découvertes au Laboratoire d'Anatomie Comparée du Museum, où se poursuit l'étude de ce « fossile vivant », signalons l'existence :

- d'un reste de poumon de taille considérable, prouvant que les poissons primitifs pouvaient respirer l'air ;

- d'un cœur sub-linéaire, beaucoup plus primitif que celui des autres Vertébrés adultes, et correspondant à un stade précoce du développement embryonnaire de ceux-ci ;

- d'un cerveau peu développé, ne correspondant même pas au 1/15 000 du poids du corps ;

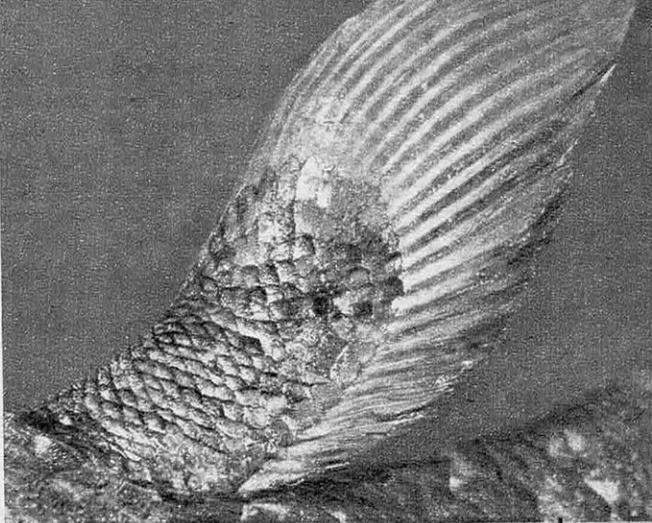
- d'un axe squelettique exclusivement représenté par une corde fibreuse creuse, homogène, pénétrant profondément dans la tête et sans formation de vertèbres dans le tronc.

Bien d'autres découvertes seront signalées dans les mois à venir dans les comptes rendus de l'Académie des Sciences et dans deux grands volumes richement illustrés qui vont être publiés sous le patronage du Centre National de la Recherche Scientifique.

J. MILLOT



**Écailles** de la face latérale du corps, un peu grossies pour bien montrer leur ornementation particulière faite de nombreuses petites côtes émaillées. Ces écailles se recouvrent les unes les autres et seul le quart environ de chacune d'elles est visible à l'extérieur. Elles varient de taille suivant les régions du corps. La plupart sont de couleur bleu sombre virant plus ou moins au brun après la mort, mais quelques-unes (à l'angle supérieur droit de la photo) sont partiellement blanchâtres.



**Nageoire dorsale postérieure**, une des formations les plus caractéristiques des Coelacanthes. On distingue nettement deux parties : le pédoncule basal revêtu de petites écailles imbriquées et dont l'axe squelettique complexe donne insertion à un riche ensemble de muscles qui valent à la nageoire une mobilité beaucoup plus grande que celle des nageoires habituelles des poissons ; l'éventail terminal est formé de rayons finement striés, reliés par une membrane très résistante.

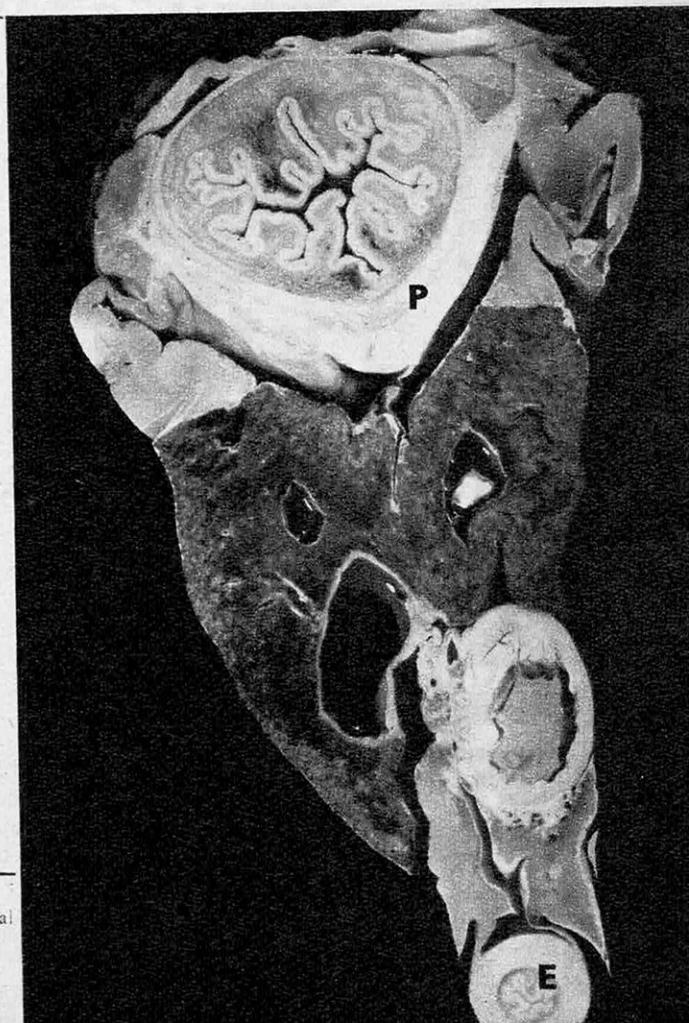
**Coupe transversale des viscères abdominaux** d'un Coelacanth (région antérieure).

L'image a le grand intérêt de montrer dans le tiers supérieur de la coupe une sorte de demi-cercle blanc qui correspond au poumon (P) : dégénéré par suite de la vie en eau trouble, rempli de graisse, il est aplati et étroitement accolé contre la face ventrale de l'œsophage dont il est issu et avec lequel il communique encore. La cavité œsophagienne, très dilatable, mais ici vide et repliée, a un aspect irrégulièrement étoilé.

La confirmation du fait que les poissons les plus primitifs possédaient de la sorte un poumon en même temps que des branchies, et pouvaient donc ainsi respirer aussi bien dans l'eau qu'à la surface, aide grandement à expliquer comment ces animaux ont pu, au cours de leur évolution, donner naissance aux Vertébrés aériens.

Au milieu de la coupe, on reconnaît les deux lobes du foie, qui sont ici de couleur très sombre et sont perforés par les énormes veines hépatiques.

Au-dessous, l'on distingue l'intestin, et enfin, tout à fait en bas, la partie terminale, pylorique, de l'estomac (E) ; elle est fort rétrécie et présente une très curieuse petite lumière étoilée.

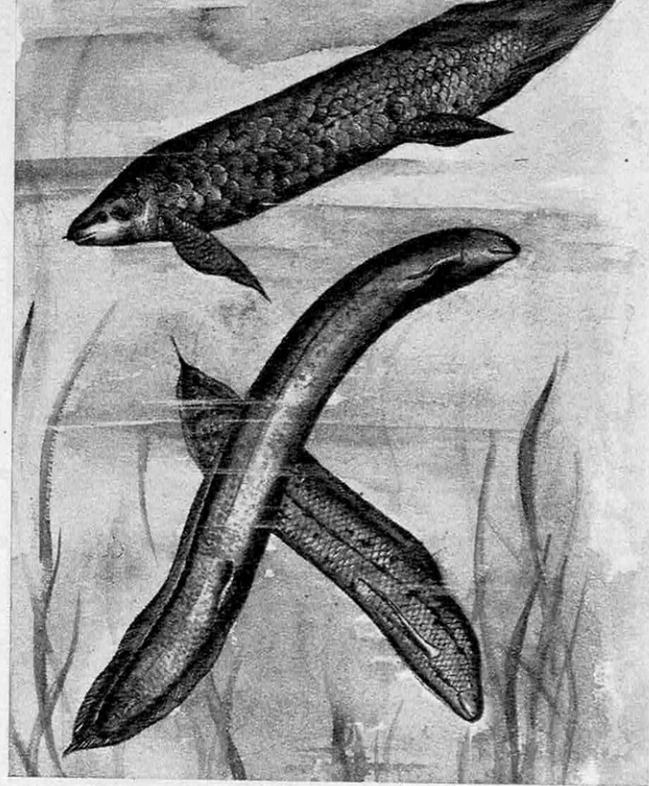


L'épanouissement d'un groupe est lié à l'absence de concurrence : les Reptiles marins ont disparu de la mer éocène lorsque les Achaécètes l'ont peuplée ; les Reptiles aériens ont cédé la place aux Oiseaux ; les Reptiles terrestres, et notamment les Dinosauriens, ont été remplacés par les Mammifères.

### Les reliques ou fossiles vivants

Quelques groupes ne disparaissent pas totalement et se continuent jusqu'à nos jours par quelques représentants à l'aspect archaïque.

Le *Sphenodon punctatum*, Reptile de la Nouvelle-Zélande, est le dernier survivant des abondants Rhynchocéphales triasiques et jurassiques d'Europe et d'Afrique. Il est réfugié à l'île Stephen, au Nord-Est de l'île du Nord où il habite les terriers du Pétrél, car il mange une partie de la nourriture que cet oiseau apporte à ses petits.



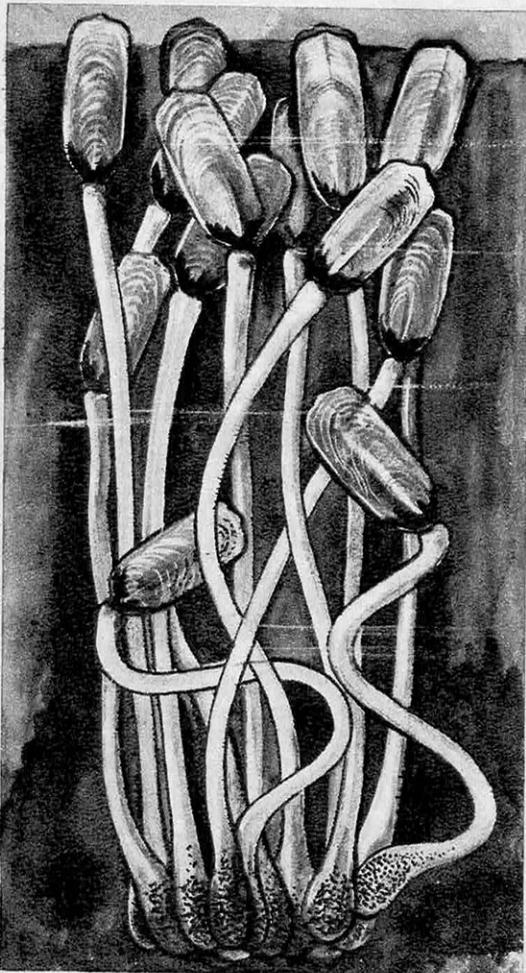
Les *Limules* sont les descendants actuels d'un grand groupe, les Mérostomes, Arthropodes, qui abondaient dans les grès siluriens. Une espèce vit encore sur la côte atlantique des Etats-Unis et du golfe du Mexique ; d'autres espèces se trouvent de l'Inde au Japon, principalement aux Moluques et aux Philippines. Leur taille s'est accrue progressivement depuis le Primaire jusqu'à l'époque actuelle.

Le *Nautilé* est l'unique survivant des Mollusques Céphalopodes tétrabranchediaux représentés dès le Primaire par les Nautilés et les Ammonites, ces dernières totalement éteintes. Le Nautilé actuel est abondant dans l'Océan Pacifique, surtout aux Moluques.

Comme reliques végétales, on peut citer des Gymnospermes comme le *Cycas* et le *Gingko biloba*, Arbre aux quarante écus de Chine, qui s'est bien acclimaté dans nos régions.

Il ne faut pas confondre ces fossiles vivants avec d'autres espèces reliques, derniers exemplaires de groupes autrefois florissants et que l'homme, directement ou indirectement, est en train d'exterminer. Ces espèces détruites pendant la période historique ne sont malheureusement que trop nombreuses.

Quelques rares genres se sont maintenus depuis le Primaire sans subir beaucoup de changements, ce sont les « types panchroniques ». On y trouve les Pleurotomaires, Mollusques Gastéropodes apparus au Cambrien et qui, fait rare, vivent encore aux Moluques, aux Antilles et au Japon. Les Lingules, Brachiopodes du Cambrien, étaient légèrement



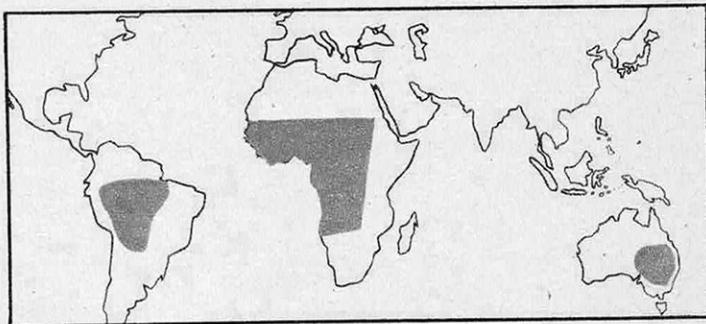
Les *Lingules* sont des Brachiopodes connus depuis le Cambrien (Primaire). Ils vivent dans la boue des estuaires et sont attachés au sol par un long pédoncule. La coquille est formée de deux valves appliquées l'une contre l'autre.

## Les trois Dipneustes actuels

CES poissons sont caractérisés par leurs nageoires paires pinnées et par une double respiration (d'où leur nom), à l'aide de branchies ou d'un poumon, suivant qu'ils sont dans ou hors de l'eau. La vessie natatoire, de grande proportion, est devenue un véritable poumon fonctionnel. Les trois genres qui subsistent sont les reliques de familles éteintes dont l'apogée se situe vers la fin de l'ère primaire. La carte de droite donne leur répartition géographique. Cicontre, de haut en bas, le *Neoceratodus* habite l'Australie, le *Protoptère* l'Afrique et le *Lepidosiren* l'Amérique du Sud (Amazone et Paraguay). Le plus aquatique des trois, le *Neoceratodus*, se trouve dans les marais

du Queensland. De temps en temps, il sort sa tête hors de l'eau pour renouveler l'air de sa vessie natatoire. Le *Protoptère* habite des marais qui se dessèchent périodiquement. Il creuse alors un puits dans la vase tout en demeurant en rapport avec l'extérieur. Sa

peau secrète un mucus qui durcit et fait une sorte de cocon dans lequel le poisson passe l'été. A son sommet, le cocon est percé d'une ouverture d'où part un tube qui pénètre dans la bouche de l'animal. Il peut ainsi, grâce à son poumon, respirer l'air directement



plus petites que les formes actuelles. D'autres Mollusques du Silurien, des Gastéropodes Pulmonés terrestres du Carbonifère, les Blattes du Carbonifère, un Scorpion du Silurien, ne présentent pas de différences sensibles avec les formes actuelles.

### La « convergence »

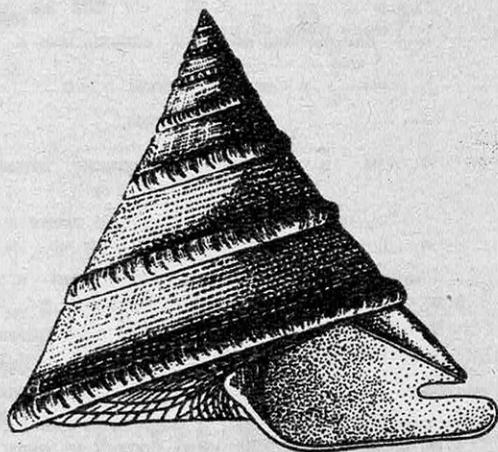
Le clade est caractérisé, comme nous l'avons dit, par son « plan de structure » qui lui confère son unité. Un Poisson cuirassé du Primaire est aussi différent que possible d'un Lion, et cependant tous deux possèdent des organes semblables, des connexions qui révèlent leur parenté : ce sont des Vertébrés avec un plan de structure Vertébré. Leurs dissemblances sont liées aux modes de vie totalement différents.

Il en est de même à l'échelle de la classe. Ainsi l'anatomie et l'embryologie montrent que la Chauve-Souris et la Baleine possèdent de nombreux caractères semblables qui témoignent de leur descendance d'un ancêtre commun. Ce sont deux Mammifères avec un plan de structure Mammifère, tandis que l'Oiseau et le Poisson qui, apparemment, ne diffèrent pas plus l'un de l'autre que la Chauve-Souris et la Baleine, appartiennent à deux classes différentes avec des plans de structure différents, le plan Oiseau et le plan Poisson.

Les structures dérivées d'un archétype commun présentent les mêmes connexions et sont dites *homologues*. Ainsi en est-il des squelettes des membres des Vertébrés : patte de la Gre-

nouille, du Lézard, aile de l'Oiseau, patte du Chat, patte nageuse de la Baleine, aile de la Chauve-Souris, patte fouisseuse de la Taupe, main préhensile de l'Homme. Ces homologues marquent un lien de descendance entre l'archétype et les formes spécialisées.

Les organes *analogues*, au contraire, ont une ressemblance superficielle, mais une origine tout à fait différente ; par exemple : l'aile de l'Insecte et l'aile de la Chauve-Souris. Ces



**Le Pleurotomaire** est un mollusque gastéropode appartenant à une famille connue dès le Cambrien où elle était très répandue. On trouve encore, bien qu'assez rarement, ses coquilles nacrées dans les mers des Antilles et du Japon.

## Le Ginkgo plante relique

CETTE plante est un véritable « fossile vivant » qui existe encore à l'état spontané en Chine, surtout vers l'ouest (voir carte ci-dessous), mais c'est surtout aux soins qu'ont apportés à sa culture les prêtres bouddhistes qu'il doit d'avoir subsisté jusqu'à nos jours en Extrême-Orient : considéré comme arbre sacré, il est planté autour des pagodes et des sépultures de la Chine et du Japon ; certains arbres vivants auraient entre 2 000 et 4 000 ans. Depuis 1730, cet arbre a été réintroduit en Eu-

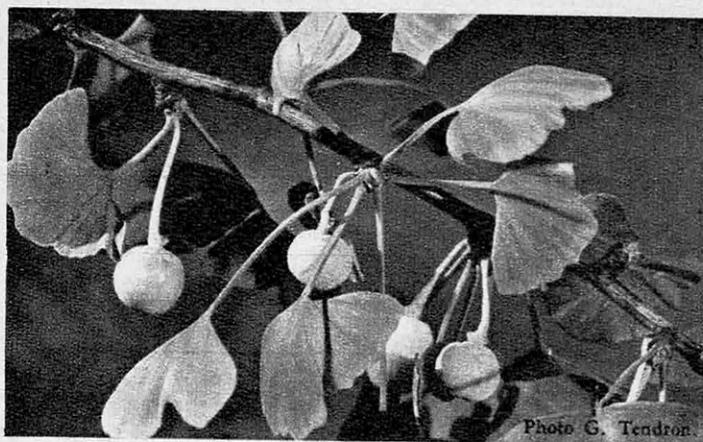
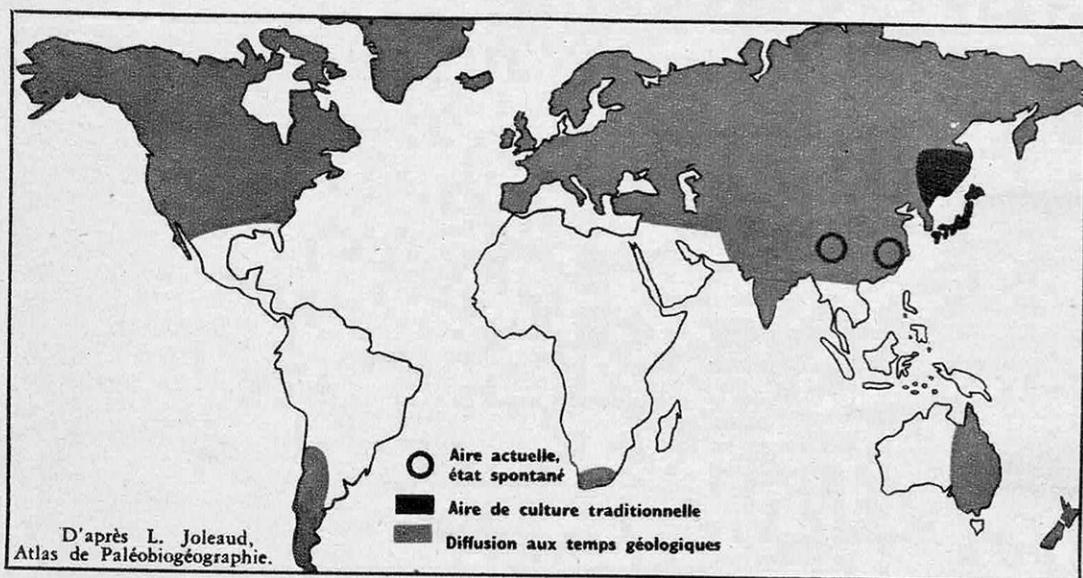


Photo G. Tendron

rope et en Amérique du Nord où il semble supporter l'hiver. Le Ginkgo (*Saliburia odiontifo-lia*) est l'unique espèce qui reste

actuellement d'un groupe archaïque de Gymnospermes très répandus dans le monde, au Dévonien et au Carbonifère.



organes sont souvent appelés *organes convergents*.

Les phénomènes de convergence s'observent dans les deux règnes. Ils se manifestent par des ressemblances frappantes entre individus menant une vie analogue, ou entre organes exerçant une même fonction. Ils n'indiquent aucune relation de parenté, mais seulement une réponse analogue à des besoins semblables. Ils peuvent aussi n'être que de simples coïncidences nées de la variation. Les exemples ne manquent pas.

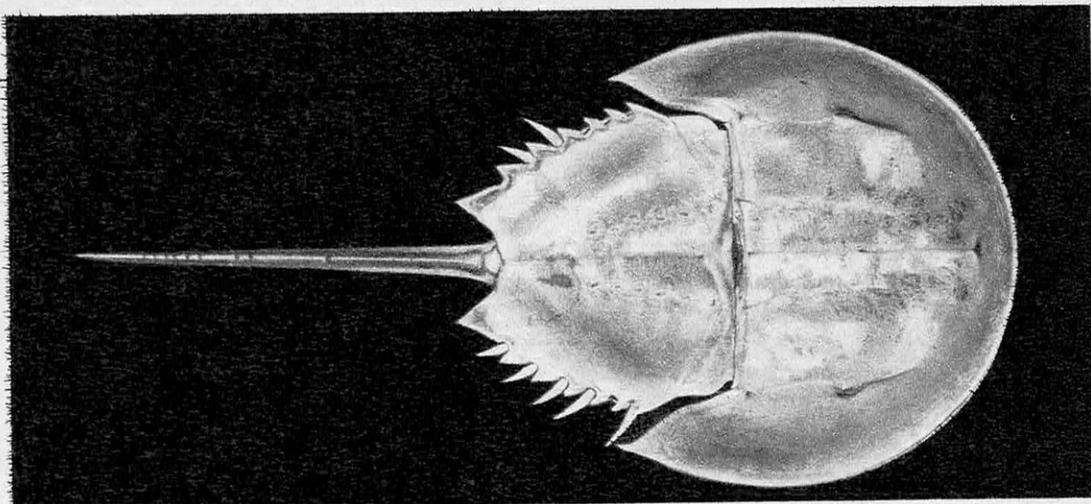
Le Requin (Poisson Sélacien), l'Ichthyosaure (Reptile éteint) et le Dauphin (Mammifère Cétacé), adaptés à une nage rapide, présentent une forme semblable ; tous trois possèdent une nageoire dorsale triangulaire jouant un rôle

d'équilibration et de stabilisation.

Les êtres à respiration aérienne et vivant dans l'eau sont organisés de telle sorte que, lorsqu'ils sont dans l'eau, les narines et les yeux émergent. Ce dispositif s'observe chez les Amphibiens (Grenouille), les Reptiles (Crocodiles), les Mammifères (Hippopotames).

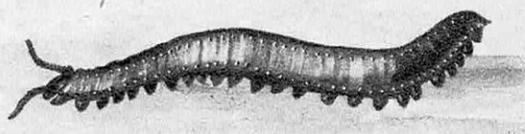
De même, l'aile s'est développée quatre fois dans le règne animal avec une structure totalement différente, aile à nervures en éventail des Chauve-Souris, aile à plumes des Oiseaux, aile bordée par un doigt exagérément long des Ptérodactyles, aile à nervures de raidissage des Insectes.

Parmi les exemples de convergence organique se placent les grosses glandes annexées au tube digestif des Invertébrés (Mollusques,



La **Limule** actuelle a fait son apparition au Trias et eut son apogée au Jurassique supérieur.

## Deux animaux de grande antiquité

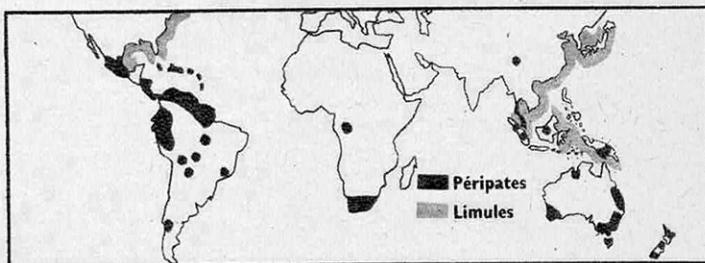


Le **Péripate** a eu des ancêtres dès le Cambrien.

LES LIMULES sont des Arthropodes marins (Mérostomacés) de grande taille (60 cm), à corps fortement chitinisé se prolongeant par un long aiguillon. Les Mérostomacés sont apparus dès le Cambrien; seules les Limules actuelles ont persisté, mais sont très localisées. Le Péripate appartient au clade des Onychophores, clade autonome qui se place entre ceux des Annélides et des Arthropodes. Les trois clades doivent être reliés à l'Antécambrien par des formes communes qui n'ont laissé aucune trace reconnaissable. Les Péripates, animaux terrestres, longs de 1 à 10 cm, portent une vingtaine de paires de

pattes. Ils font totalement défaut dans la zone tempérée de l'hémisphère nord, mais on les rencontre dans la zone tempérée australe. Leur distribution, très étendue, mais discontinue, est surprenante pour des animaux lents possédant des moyens de

dissémination très limités et vivant dans des lieux obscurs et humides. Ce fait soulève des problèmes de connexions, aux ères géologiques, entre les divers continents de l'hémisphère austral actuellement très éloignés les uns des autres.



Crustacés, Arachnides). Elles rappellent le foie des Vertébrés et portent le même nom, mais elles n'ont aucune origine commune avec celui-ci.

Le piège construit par la larve du Diptère *Vermileo* est exactement semblable à celui édifié par le Fourmilion (Hémérobiidé); c'est un entonnoir creusé dans le sable fin au fond duquel la larve attend et capture sa proie: exemple de convergence éthologique (ethos = coutumes, mœurs) réalisée entre deux espèces différentes.

Dans le règne végétal, les « plantes grasses » qui emmagasinent de l'eau dans leur tissu et vivent dans des lieux secs, présentent souvent le même aspect caractéristique bien qu'appartenant à des familles différentes: Cactées (*Cereus*), Euphorbiacées (*Euphorbia*), Asclépiadée (*Stapelia*).

Ces quelques exemples sont choisis au hasard. On pourrait en citer de nombreux autres. Ils offrent un intérêt particulier car ils ont souvent, dans le passé, égaré les savants dans les classifications. Ainsi, les Cétacés

étaient jadis rangés parmi les Poissons. Une classification scientifique évolutive doit reposer sur les homologues des êtres, des organes, des structures et non sur des convergences fallacieuses.

### Le phénomène du relais

L'histoire de l'évolution, d'après les restes fossiles, montre la succession des groupes dominants, ce qu'on a appelé le phénomène du « relais ». Nous avons vu qu'un groupe, après une période d'épanouissement et de spécialisation, se stabilise, décline et s'éteint pour être remplacé par un autre. Les exemples abondent.

Les Tétracoralliaires et les Tabulés qui édificiaient au Primaire les récifs coralliens sont remplacés au Trias par des Hexacoralliaires qui existent encore. Les Oursins du Primaire se sont éteints à l'exception des Cidarides et ont été remplacés au Trias par des formes modernes. Les divers groupes de Poissons se sont relayés. Les Créodontes, Mammifères carnivores de l'Eocène-Oligocène d'Europe et d'Amérique du Nord, comptaient des espèces plus puissantes que les Lions et les Tigres (une espèce de Mongolie avait un crâne mesurant un mètre de long); ils ont succombé devant leurs descendants qui les ont totalement éliminés. Aux Reptiles volants du Secondaire ont succédé les Oiseaux.

Les Vertébrés terrestres présentent un phénomène du relais très manifeste. Jusqu'au Dévonien supérieur, ils sont essentiellement aquatiques et peuplent abondamment les mers et les eaux douces. Vers la fin du Dévonien, les nageoires se transforment en pattes chez les premiers Tétrapodes qui menaient une vie plus ou moins amphibie. A partir du Permien, les adultes deviennent terrestres, seules les larves demeurent aquatiques; leur expansion se place au Permo-Trias. Puis ils s'éteignent en laissant de petites formes qui se prolongent jusqu'à nos jours.

Au Permo-Trias apparaissent les premiers Reptiles qui, pendant tout le Secondaire, se multiplient, se diversifient et occupent tous les milieux aquatique, terrestre et aérien. Au début, cette faune reptilienne comprend de petites formes à croissance très rapide, mais les formes géantes leur succèdent promptement. Au Crétacé supérieur, en Mongolie, les *Protoceratops* mesurent environ 2 m de long; puis les *Monoclonius* du milieu du Crétacé supérieur atteignent presque 6 m. Enfin, les dernières formes, comme le *Triceratops* de la fin du Crétacé, mesurent 7 m. Le gigantisme, rapidement atteint, se stabilise ensuite.

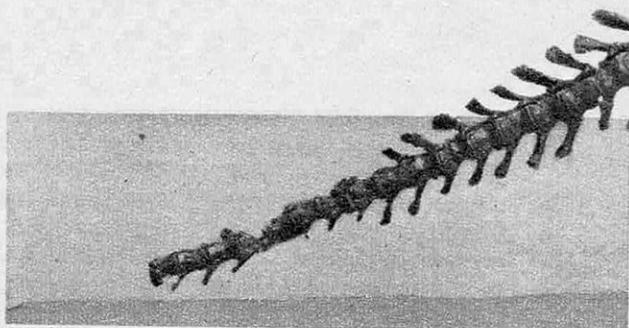
Les Dinosauriens (deinos = terrible, sauros = lézard), les plus grands et les plus étran-

ges, occupent la terre ferme : l'*Iguanodon*, herbivore bipède, haut de 4 à 5 m et long d'une dizaine de mètres, rappelle le Kangourou; le Stégosaure (7 m de long) était armé dorsalement d'une double rangée de plaques osseuses triangulaires et la région caudale portait quatre paires de grosses épines dermiques; le *Triceratops* (treis = trois, keros = corne) a l'aspect du Rhinocéros.

Les *Diplodocus*, Gigantosaures, Brontosaures, Brachiosaures, Titanosaures, sont des herbivores quadrupèdes qui, avec leur long cou et leur longue queue, mesurent de 20 à 40 m; les membres à cinq doigts se terminent par des sabots. Les Brachiosaures, géants parmi les autres, auraient pu brouter sur une fenêtre du quatrième étage d'un immeuble moderne. Leur masse est évaluée à 30 tonnes et ils devaient consommer au moins 300 kg d'herbe par jour; c'est dire qu'ils devaient manger presque continuellement puisque l'Éléphant d'Asie ne peut travailler que pendant quelques heures en raison du temps qui lui est nécessaire pour s'alimenter.

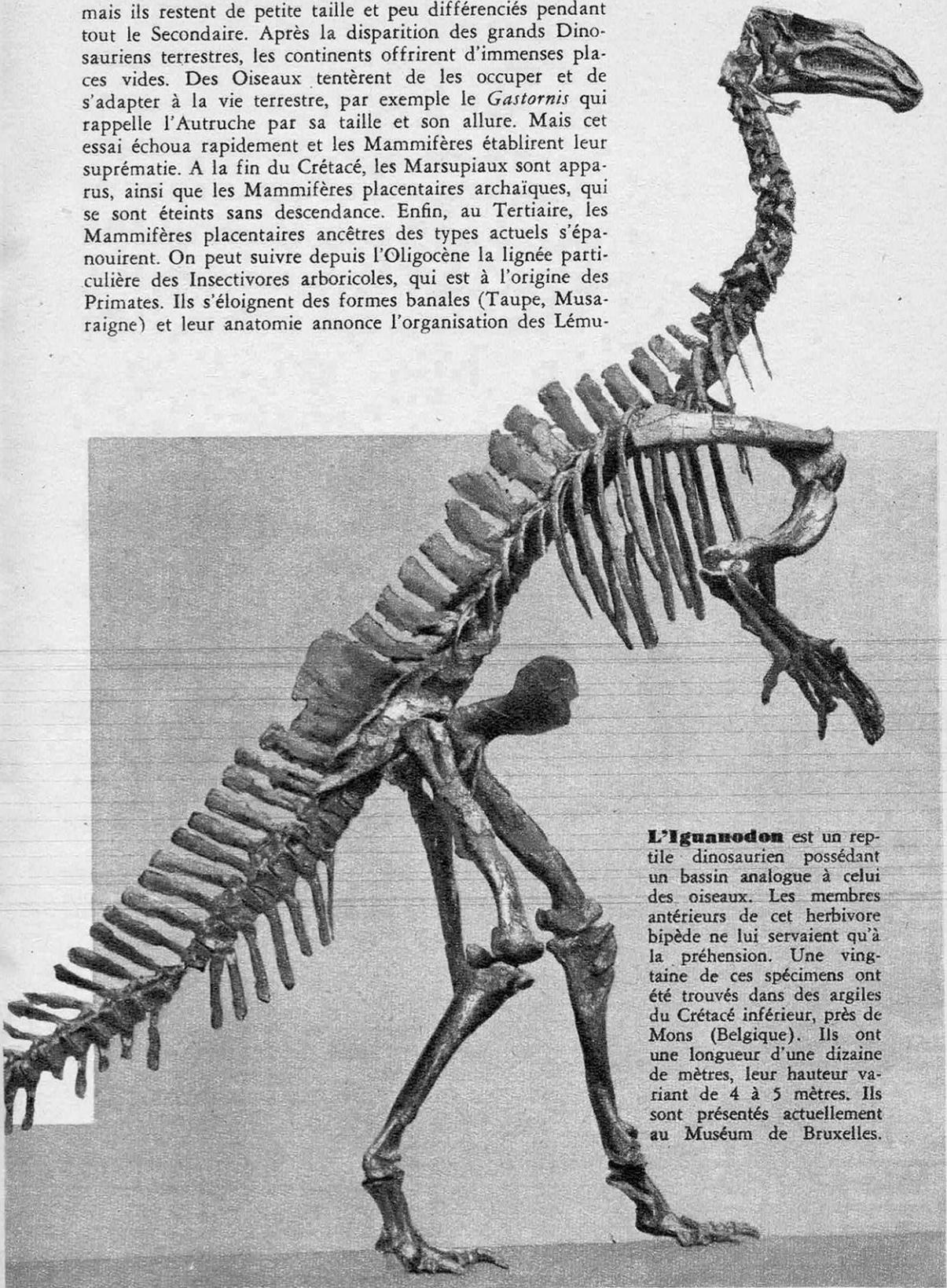
Dans les mers vivaient les Reptiles nageurs : Ichthyosaures, Plésiosaures, Mosasaures. Les Ichthyosaures (Lézards-Poissons) mesurent de 1 à 10 m; leur tête volumineuse porte de 100 à 200 dents coniques et ils possèdent quatre nageoires paires comme les Poissons, mais constituées comme les nageoires antérieures des Cétacés. Carnassiers, ils mangent des Poissons, Ammonites, Bélemnites, Crustacés. Des exemplaires trouvés avec des fœtus prouvent qu'ils étaient ovovivipares. Les Plésiosaures, assez différents, se présentent sous l'aspect de Cétacés avec un long cou. Les Mosasaures, très abondants, sont des géants (10 à 15 m de long).

Les airs étaient sillonnés par les Ptérosaures (pteron = aile, sauros = lézard) ou Reptiles volants : Rhamphorhynque, Ptérodactyle, *Pteranodon*. Le Rhamphorhynque était pourvu d'une longue queue se terminant par une petite voile en losange; les mâchoires étaient garnies de dents fines et pointues. Le Ptérodactyle, beaucoup plus petit, ne dépassait pas la taille d'un moineau. La queue était courte et la tête volumineuse par rapport au

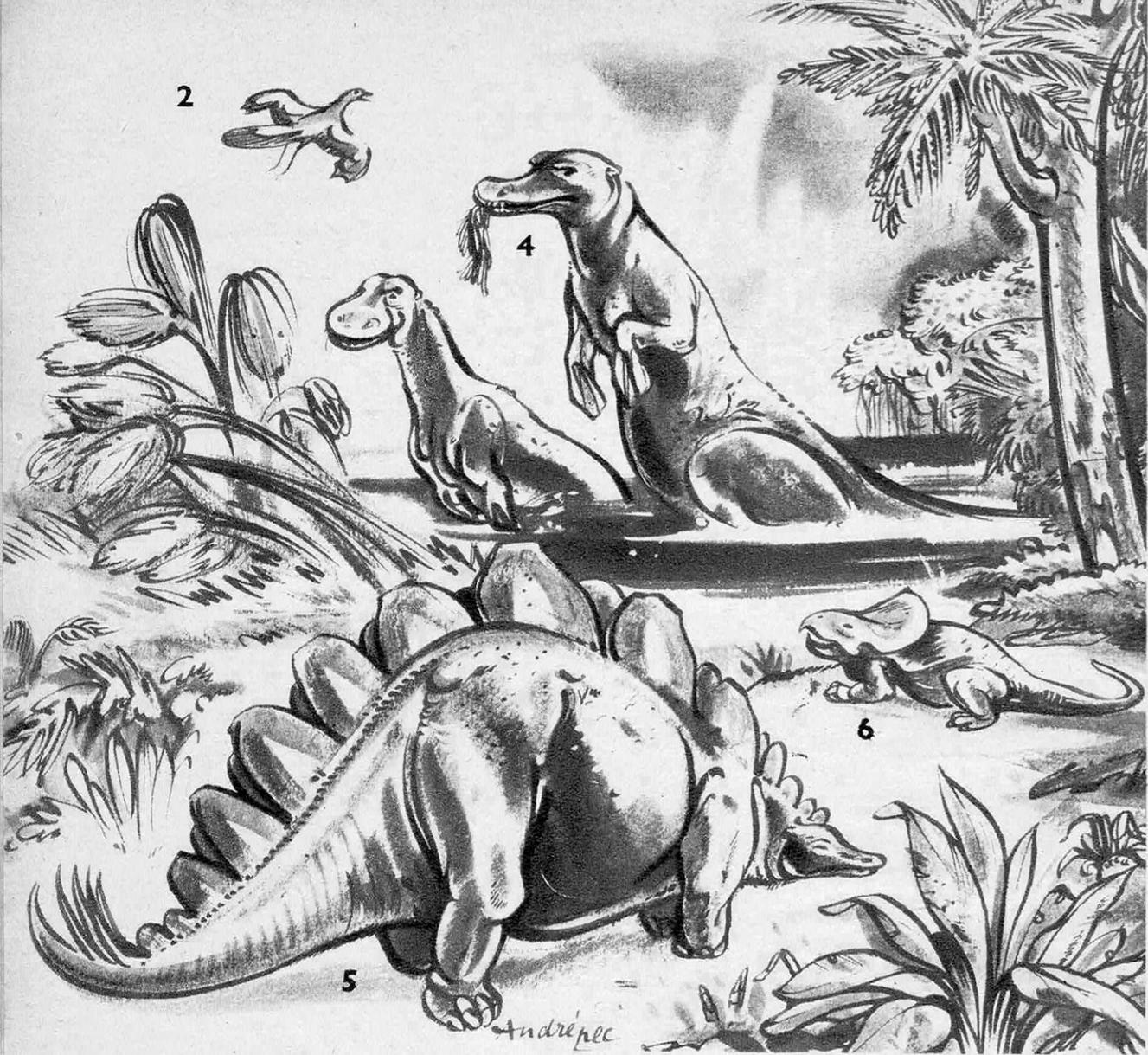


reste du corps. Les *Pteranodons* d'Amérique atteignent 6 m d'envergure.

Dès le début du Jurassique, les Mammifères commencent, mais ils restent de petite taille et peu différenciés pendant tout le Secondaire. Après la disparition des grands Dinosauriens terrestres, les continents offrirent d'immenses places vides. Des Oiseaux tentèrent de les occuper et de s'adapter à la vie terrestre, par exemple le *Gastornis* qui rappelle l'Autruche par sa taille et son allure. Mais cet essai échoua rapidement et les Mammifères établirent leur suprématie. A la fin du Crétacé, les Marsupiaux sont apparus, ainsi que les Mammifères placentaires archaïques, qui se sont éteints sans descendance. Enfin, au Tertiaire, les Mammifères placentaires ancêtres des types actuels s'épanouirent. On peut suivre depuis l'Oligocène la lignée particulière des Insectivores arboricoles, qui est à l'origine des Primates. Ils s'éloignent des formes banales (Taupe, Musaraigne) et leur anatomie annonce l'organisation des Lému-



**L'Iguanodon** est un reptile dinosaurien possédant un bassin analogue à celui des oiseaux. Les membres antérieurs de cet herbivore bipède ne lui servaient qu'à la préhension. Une vingtaine de ces spécimens ont été trouvés dans des argiles du Crétacé inférieur, près de Mons (Belgique). Ils ont une longueur d'une dizaine de mètres, leur hauteur variant de 4 à 5 mètres. Ils sont présentés actuellement au Muséum de Bruxelles.



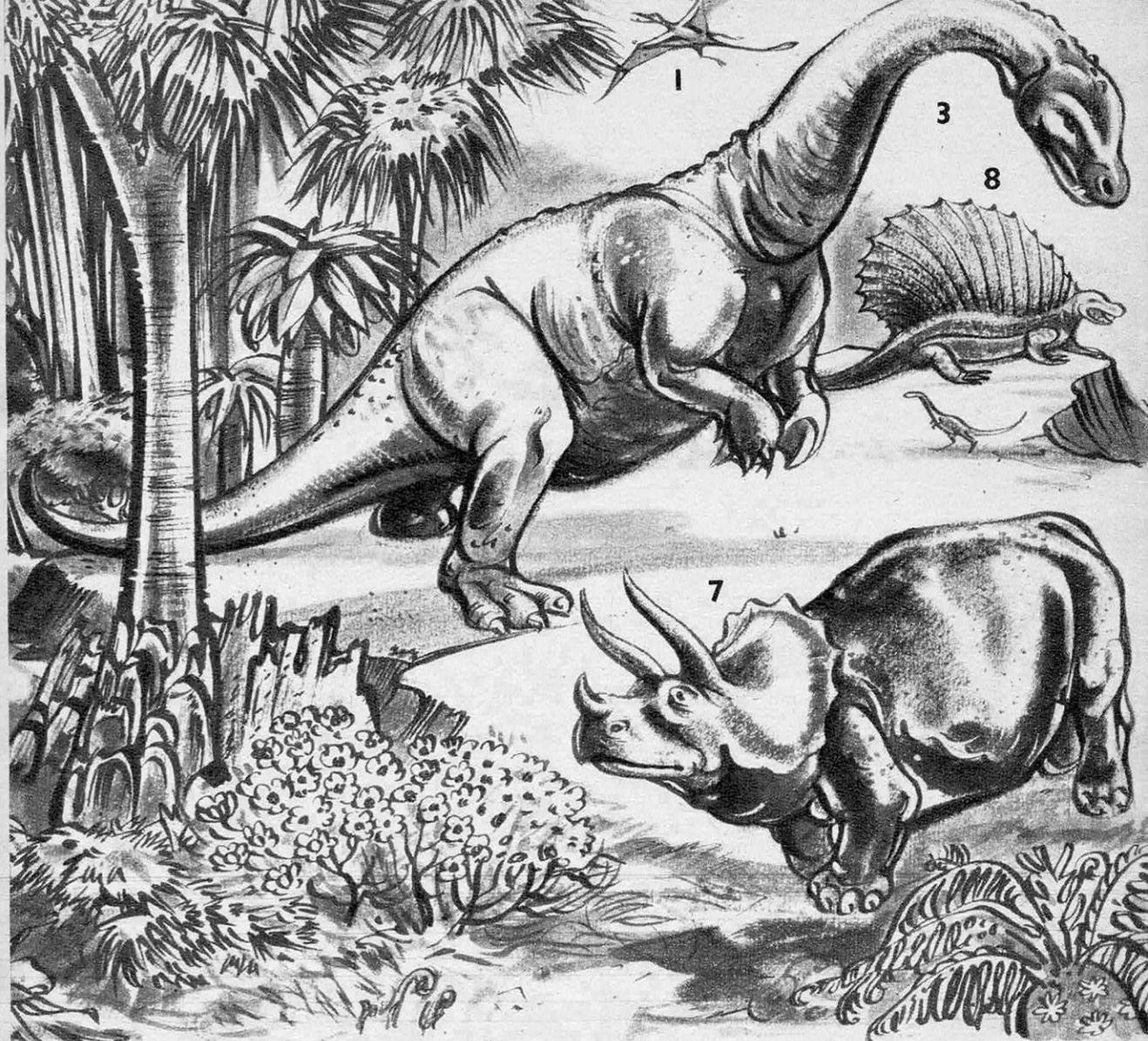
riens. Ils sont actuellement représentés en Asie par les Tupaias et en Afrique par les Macroscélidés (Rats à trompe). La fin du Tertiaire voit, une riche floraison de Primates, et enfin l'Homme apparaît au Quaternaire. La loi du relais s'applique encore avec les expansions successives des Pithécantropes, de l'Homme de Néandertal et de l'*Homo Sapiens* moderne.

Tout comme les animaux, les végétaux manifestent le phénomène du relais. A la fin du Primaire, les Equisétinées, les Lycopodinées arborescentes, les Fougères à graines, sont remplacées par les Coniférales. Au Crétacé supérieur, les Cycadales et les Ginkgoales disparaissent, ne laissant que quelques reliques, et les Angiospermes se multiplient et s'épanouissent.

### Les tendances évolutives

Les étapes successives du relais marquent un progrès dans l'organisation et un accroissement de complexité. Tout être qui vit et dure est adapté à ses conditions de vie, mais les améliorations et les perfectionnements ne sont pas pour autant exclus. Les Poissons modernes semblent être des mécanismes beaucoup plus efficaces que les lourds Poissons cuirassés du Primaire. L'acquisition de l'homéothermie, ou stabilisation de la température interne, par les Oiseaux et les Mammifères a favorisé leur extension vers des régions au climat rigoureux où les Reptiles n'auraient pu se maintenir.

Actuellement, les deux classes qui prédominent dans le milieu terrestre, Mammifères et Insectes, comprennent des êtres à gros cer-



veau et à psychisme élevé. Le cerveau de l'Homme marque le maximum et la plus grande complexité morphologique et physiologique ; les complications de l'organique et du psychique se développent parallèlement.

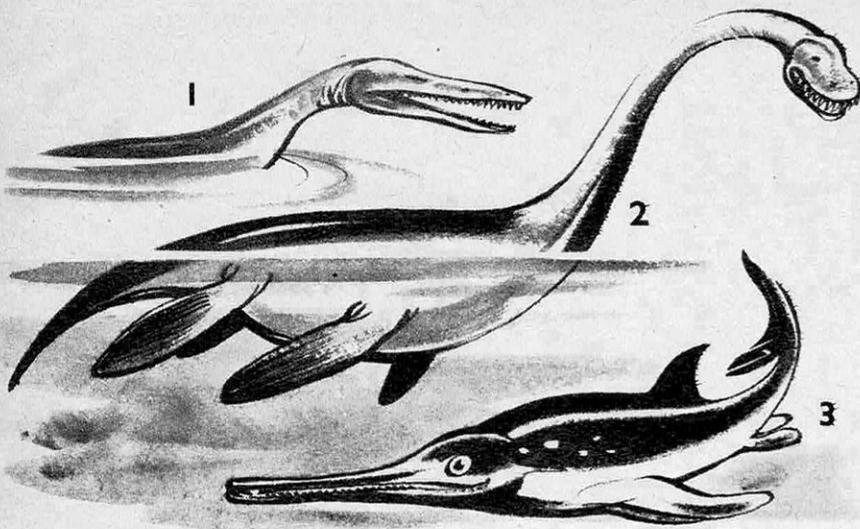
En fait, l'histoire paléontologique semble montrer que l'évolution se déroule suivant des directions déterminées ; les formes se succèdent en réalisant un type de plus en plus net. Certains caractères se compliquent progressivement et d'autres se réduisent. Ces séries évolutives s'appellent *orthogénèses*.

L'exemple classique d'orthogénèse est l'évolution de la taille, du nombre de doigts et des dents des Equidés pendant le Tertiaire et le Quaternaire d'Amérique du Nord, soit environ 60 millions d'années, pour aboutir au

**L'ère secondaire** marque l'apogée des grands reptiles, probablement à cause du développement des surfaces continentales et grâce au climat essentiellement chaud et très humide. Les plus étranges sont les Dinosauriens qui devaient vivre dans une brousse épaisse. La plupart sont herbivores : Iguanodon (3), Trachodon (4), Stégosaure (5), Protoceratops (6), Triceratops (7), Edaphosaure (8). L'Oiseau est déjà en puissance dans l'Archæopteryx (2) (voir aussi page 15) et la Chauve-Souris dans le Ramphorhynchus (1).

Cheval. Des séries analogues ont été établies pour les Camélidés, etc. Les orthogénèses se présentent sous trois aspects essentiels :

— Elles se déroulent progressivement et s'arrêtent lorsque le type réalisé semble avoir atteint un bon équilibre (doigt unique du Cheval, deux doigts de l'Australopithecus et des Ruminants, œil des Primates, trompe de l'Eléphant,



**Les Reptiles** du Secondaire ont pris, dans les eaux, des aspects plus ou moins apparentés aux crocodiles. Ce sont des Plésiosaures comme le Kronosaure (1) et l'Elasmosaure (2), sorte de grand serpent à nageoire, mesurant jusqu'à 15 m, dont la moitié pour le cou. Certaines formes préfigurent les Cétacés, comme les Ichthyosaures (3) semblables à nos Dauphins.

homéothermie des Mammifères). Elles marquent un perfectionnement physiologique : le Cheval est un coureur idéal ; la trompe de l'Eléphant, juste assez grande pour effleurer le sol, compense la haute taille.

— Elles peuvent cependant encore se poursuivre jusqu'à de véritables hyperthélies : défenses recourbées des Mammouths, pesante armure des Stégosaures, bois extravagants de certains Cervidés, grandes canines supérieures des Babirussas (cochon-cerf), énormes piquants de certains Oursins, pattes démesurées et antennes excessives de certains Insectes, etc.

— Elles peuvent enfin être régressives et donner naissance à des organes rudimentaires, dépourvus de fonction (œil pinéal des Lézards actuels, pattes réduites de certains Lézards), ou bien conduire à la disparition totale de l'organe (Amphibiens et Reptiles sans pattes, Cétacés et Siréniens sans membres postérieurs).

### La vitesse de l'évolution

L'évolution est un phénomène constatable, mais d'une extrême lenteur ; des millions d'années sont nécessaires pour la réalisation d'un changement un peu profond. Certaines évolutions sont cependant plus rapides que d'autres ; la naissance des Reptiles est rapide par rapport à celle des Mammifères.

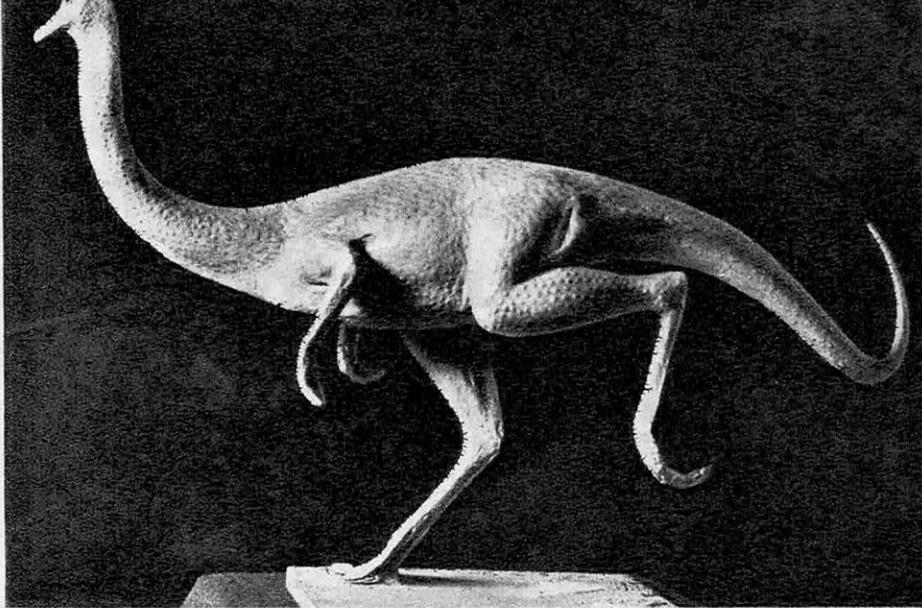
Le passage de la vie aquatique à la vie aérienne entraîna une révolution organique et physiologique fort complexe et de très longue durée, qui se réalisa par étapes successives. Le poumon se développe chez les Poissons Crossoptérogènes qui possèdent alors un double appareil respiratoire, branchies et poumons ; la transformation de la nageoire en patte marcheuse permet la vie amphibie des Stégocéphales. La disparition de la vie larvaire aquatique (phase têtard) et l'acqui-

sition d'une peau imperméable rendront possible l'abandon définitif du milieu aquatique. Les Reptiles, les premiers, mèneront une vie totalement terrestre ; ceux qui retourneront à la vie aquatique conserveront leur respiration aérienne et leurs caractères reptiliens. *L'évolution est irréversible, c'est une règle générale.*

Il semble que l'évolution à l'intérieur des clades a été d'autant plus rapide que les clades sont plus récents. On admet généralement que l'évolution des Poissons osseux a demandé entre 305 à 375 millions d'années.



**Le Struthiomimus**  
ou Dinosaur-Autruche,  
représente une adaptation  
des reptiles du Secondaire à un autre genre  
de vie : celui des oiseaux  
marcheurs; ses  
longues jambes minces  
sont évidemment faites  
pour la course. Cet animal  
qui ressemblait,  
pense-t-on, à une autruche  
déplumée, mesurait  
environ sept mètres. Un  
squelette très complet a  
été trouvé au Canada.



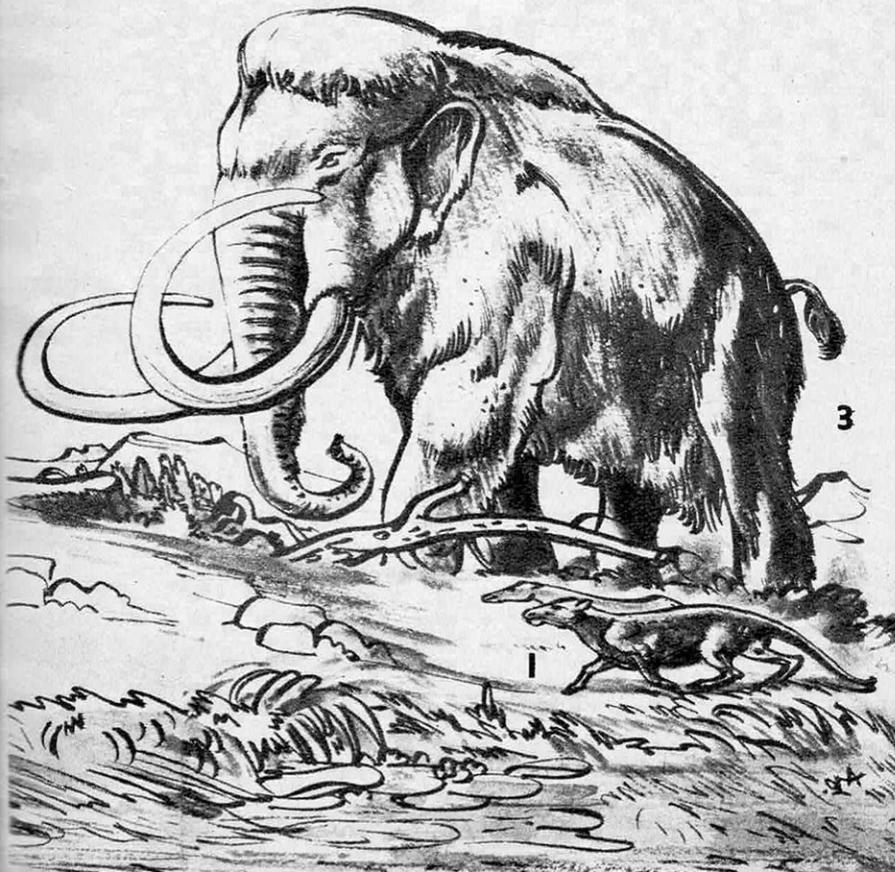
Atlas-Photo.

L'épanouissement des Oiseaux a exigé 150 millions d'années, mais la multiplicité des espèces daterait seulement des 50 derniers millions d'années. L'ensemble de la classe des Mammifères se différencie pendant le Tertiaire en 20 à 40 millions d'années. L'histoire des Primates est encore accélérée; les Tarsiens et les Lémuriens existent seuls à l'Eocène et à l'Oligocène. A l'Oligocène et au Miocène apparaissent des Singes plus évolués; le point d'insertion de la lignée humaine n'est guère antérieur à plus d'un million d'années.

Actuellement, les clades paraissent statiques; il n'est pas apparu de familles nouvelles depuis des milliers d'années. Mais à l'échelle géologique, l'apparition de l'Homme est encore récente. L'espèce Homme sera-t-elle panchronique ou subira-t-elle, à son tour, le phénomène du relais au profit d'un groupe actuellement insoupçonné? On peut poser la question, mais non la résoudre.

Andrée TÉTRY.

Directeur-adjoint à l'Ecole Pratique  
des Hautes Etudes.



**Au début de l'ère tertiaire,** les Mammifères apparaissent. Le plus primitif de ces êtres est le Phenacodus (1) décrit par Osborn d'après des squelettes très complets. On lui a longtemps attribué une signification évolutive de première importance comme ancêtre commun des animaux à sabots, des Singes et de l'Homme. Nous savons maintenant que c'est une forme éteinte sans postérité comme son contemporain le Coryphodon (2) qui semble voisin du Tapir. Le Mammouth (3) avec son épaisse fourrure et le Mastodonte (4) sans poil sont les deux types les plus caractéristiques des Eléphants fossiles.

# LA GÉNÉTIQUE

## SCIENCE DE L'HÉRÉDITÉ

UNE population comprend toujours des hommes adultés de diverses tailles : des petits, des moyens et des grands ; tous les intermédiaires existent entre les deux extrêmes. La variation continue de la stature peut se traduire graphiquement par une courbe exprimant, pour chaque taille, le nombre d'individus correspondant. S'il s'agit d'une population vraiment homogène, la courbe n'a qu'un sommet, indiquant la taille la plus fréquente. Mais si l'étude porte sur une population hétérogène, composée, par exemple, de Français et de Chinois, la courbe obtenue a deux sommets. Elle pourrait, naturellement, en avoir plus si le mélange des races était plus complexe.

Cette observation a une portée générale et s'applique aux caractères les plus divers, tant chez les animaux que les végétaux.

### Génotype et phénotype.

Prenons une variété commerciale de Haricot, pesons les graines récoltées chaque année et groupons les graines de même poids. Nous obtenons chaque fois une courbe de même allure, à un sommet. Nous avons donc là une « population » homogène. Mais, dans ce cas particulier, on peut montrer qu'elle comprend des groupes plus restreints. En effet, la fleur de Haricot a une conformation telle qu'elle se féconde elle-même, sans aucun apport étranger, de sorte que la lignée qu'on obtient à partir d'une graine isolée constitue une *lignée pure*. La courbe de fréquence de l'ensemble de la récolte est la somme des courbes de fréquence des diverses lignées pures. Si on choisit la graine la plus grosse d'un lot commercial et si on la sème séparément, la différence de taille subsistera en moyenne dans les générations successives, c'est-à-dire que la courbe de fréquence des tailles, tout en gardant la même allure que la courbe générale, aura son sommet décalé vers les grandes tailles. C'est le principe de la sélection sous sa forme la plus simple.

Mais on en trouve tout de suite la limite : si on répète l'opération, en choisissant chaque fois la graine la plus lourde d'une lignée pure, la courbe de fréquence demeure iden-

tique ; la sélection ne joue plus. Tous les Haricots d'une lignée ont la même constitution, le même *génotype*. Les différences de poids observées sont dues aux conditions de nutrition lors de la croissance. Ce sont elles qui conditionnent le *phénotype* d'un individu, ses caractéristiques particulières. Le génotype est héréditaire et commun à toute la lignée, le phénotype traduit l'action des facteurs externes sur le génotype.

### La variation discontinue

Parfois, dans la nature, plus souvent dans les élevages, apparaît un individu différent des autres par un ou plusieurs caractères, et qui se place nettement hors de la courbe de fréquence. Il s'agit alors d'une mutation spontanée, d'une modification du génotype et, comme telle, héréditaire.

Les exemples abondent : Moutons bassets du Massachusetts, Bœufs camards d'Argentine, Lapins « castorrex », Souris albinos, etc.

Les mutations spontanées s'observent aussi chez les végétaux. La Bourse à pasteur a donné une variété à carpelles arrondis, trouvée en 1897 sur la place du marché, à Landau, et une autre dont le fruit possède quatre carpelles échanrés, découverte en 1908 à la gare d'Izeste, dans les Basses-Pyrénées. Le Fraisier monophylle de Duchesne, apparu à Paris en 1763, existe toujours.

La même mutation peut apparaître indépendamment en plusieurs endroits. Le Hêtre à feuilles rouges est né au moins trois fois : au xv<sup>e</sup> siècle, dans le Tyrol ; au xvii<sup>e</sup>, dans le canton de Zurich ; au xviii<sup>e</sup>, en Thuringe. Les Chats à queue courte sont connus à l'île de Man, en Crimée, en Perse, au Japon, à Malacca, à Sumatra.

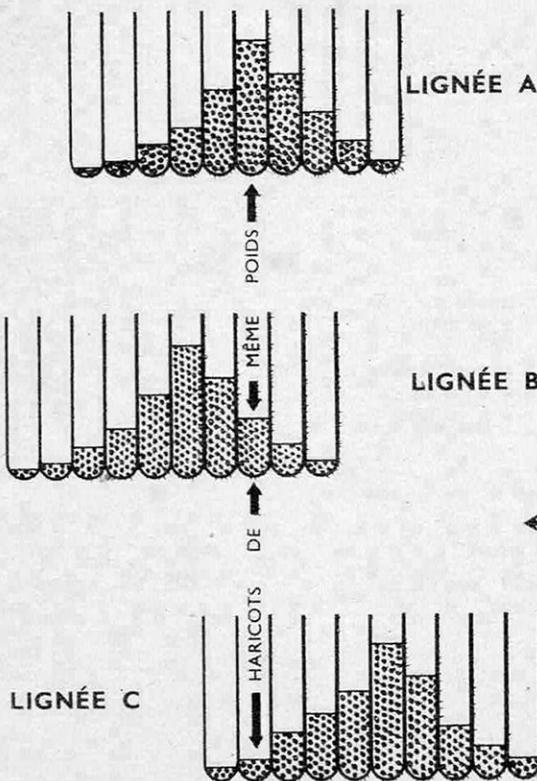
La fréquence des mutations spontanées est très faible (une mutation pour un million d'individus pour la Mouche *Drosophile*) et l'étude de ce phénomène naturel est quasi impossible. Aussi les généticiens s'efforcèrent-ils de le provoquer expérimentalement. C'est en 1927 que Muller découvrit que l'action des rayons X sur la Mouche *Drosophile* augmentait le taux des mutations d'environ 150 fois ;

les radiations du radium, les protons, les neutrons ont la même propriété ; certains composés chimiques (ypérite, gaz moutarde, formol, peroxydes, etc.) peuvent induire des mutations.

Les mutations artificielles sont, dans l'ensemble, semblables aux mutations spontanées. Comme elles, elles sont imprévisibles dans leur nature ; beaucoup sont « létales », c'est-à-dire qu'elles ne permettent pas la vie. Le fait principal que nous retiendrons est que le rayonnement doit porter sur les cellules reproductrices. Parfois, pour une plante, une mutation de bourgeon peut apparaître, mais elle n'est pas héréditaire ; c'est le « sport » des horticulteurs, qui ne se maintient que par reproduction asexuelle, par bouturage par exemple. Toutes les mutations vraies, compatibles avec la vie, sont héréditaires et traduisent une modification de ce que nous avons appelé plus haut le « génotype ». Où se matérialise ce génotype dans les cellules reproductrices, sur quels éléments portent les modifications correspondant aux mutations, et quelle est leur nature ? La théorie moderne de l'hérédité va nous permettre de le préciser.

### Grégor Mendel, père de la génétique.

La science expérimentale de l'hérédité, ou génétique, est toute récente et n'a commencé à se développer qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle,



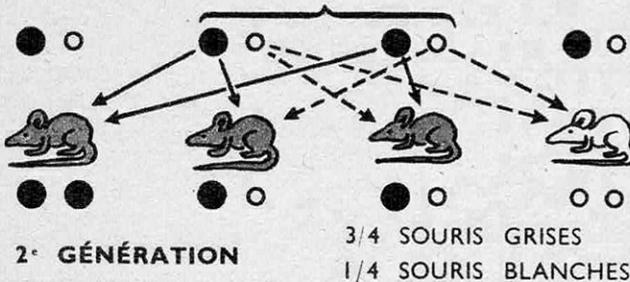
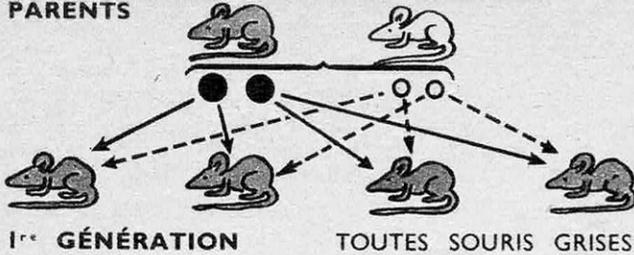
bien que le premier mémoire fondamental consacré à l'hérédité, œuvre d'un moine augustin, Johann Mendel, en religion père Grégor, soit de 1865. Ses expériences célèbres sur les cultures des Pois, l'analyse pénétrante à laquelle il soumit ses résultats, font de lui non un précurseur, mais le véritable créateur de la génétique. Le premier, il a énoncé les lois qui régissent les croisements entre variétés différant par un ou plusieurs caractères. Son mémoire renferme tous les éléments essentiels : lois de l'hybridation, application des probabilités aux phénomènes héréditaires. Paru dans le journal d'une société de Brünn (ou Brno), en Moravie, ce mémoire passa totalement inaperçu, et c'est seulement trente-cinq ans plus tard que justice lui fut rendue. Les lois de l'hybridation végétale, redécouvertes en 1900 par trois botanistes : de Vries (Hollandais), Correns (Allemand), von Tschermak (Autrichien), indépendamment l'un de l'autre, portent cependant le nom de « lois de Mendel ». En même temps, deux zoologistes, l'Anglais Bateson et le Français Cuénot, montraient qu'elles s'appliquaient aux animaux.

Ces lois ont été vérifiées sur un nombre considérable de plantes et d'animaux. Dans ces recherches, la Drosophile ou Mouche du vinaigre a joué un rôle capital. Cette Mouche se développe très rapidement, à raison d'une génération tous les douze jours ; elle est très prolifique ; l'examen microscopique des noyaux des cellules est relativement facile, par suite du petit nombre des chromosomes. Avec ce matériel de choix, l'Américain Th. H. Morgan et son école ont analysé le mécanisme héréditaire avec une admirable précision.

Les lois de Mendel sur l'isolement, les combinaisons et l'indépendance des caractères, conduisent à attribuer à ces derniers une certaine réalité objective et à concevoir le patrimoine héréditaire comme possédant une structure discontinue, composée de particules ou unités héréditaires, matérialisant les caractères. L'œuf fécondé, qui contient tous les caractères en puissance, résulte de l'union de deux cellules reproductrices (gamètes) ; elles sont morphologiquement très dissemblables,

← **Les haricots de même poids** étant placés dans une même éprouvette, on obtient, automatiquement et pour chaque lignée pure, le polygone de fréquence relatif au poids des graines. En plaçant vis-à-vis les séries d'éprouvettes de telle sorte que celles de même poids se correspondent, on situe de suite la lignée qui donne les meilleurs résultats, ici la lignée C. Mais dans chaque lignée, l'espèce n'est plus améliorable : chaque graine donne des haricots présentant le même polygone que celui de la lignée elle-même.

## PARENTS



**Disjonction** dans un croisement entre lignées pures différant par un seul couple de caractères (souris grises et souris blanches). A la première génération, toutes les souris sont grises, car le facteur gris « domine » le facteur blanc qui demeure caché. A la deuxième, on trouve trois fois plus de grises que de blanches : 1 sur 4 est grise pure; 2 sur 4 sont grises, quoique portant le facteur blanc dominé, 1 sur 4 est blanc pur.

mais elles portent un élément commun, le noyau, et, dans ce noyau, des *chromosomes* identiques en nombre et en forme générale.

### Les chromosomes, supports de l'hérédité

Pour expliquer les résultats expérimentaux, il suffit d'imaginer que les chromosomes, supports de l'hérédité, renferment des particules matérielles correspondant aux facteurs héréditaires, ou *gènes*, possédant chacun une individualité et exerçant une action caractéristique dans le développement de l'individu (1). Tout se passe comme si ces gènes, que l'on conçoit comme de grosses molécules, étaient alignés le long du chromosome dans un ordre fixe, un peu comme les perles d'un collier. En fait, si les chromosomes sont une réalité et directement observables, les gènes sont des entités révélées par la génétique. Ils existent cependant, leurs dimensions approximatives sont connues et on a pu, dans certains cas, dresser des cartes précisant leur position sur les chromosomes. Mais il est actuellement impossible d'affirmer si les grains observés dans les chromosomes au microscope électronique sont les gènes eux-mêmes, ou leur enveloppe, ou autre chose...

Le gène a pour propriété essentielle sa faculté d'autoreproduction. Chaque gène est capable, par un mécanisme encore inexpliqué, d'inciter la cellule à produire, à chacune de

ses divisions, un gène identique à lui-même, de sorte que toutes les cellules-filles qui forment les tissus de l'organisme contiennent des jeux de chromosomes en principe identiques à ceux de la cellule initiale.

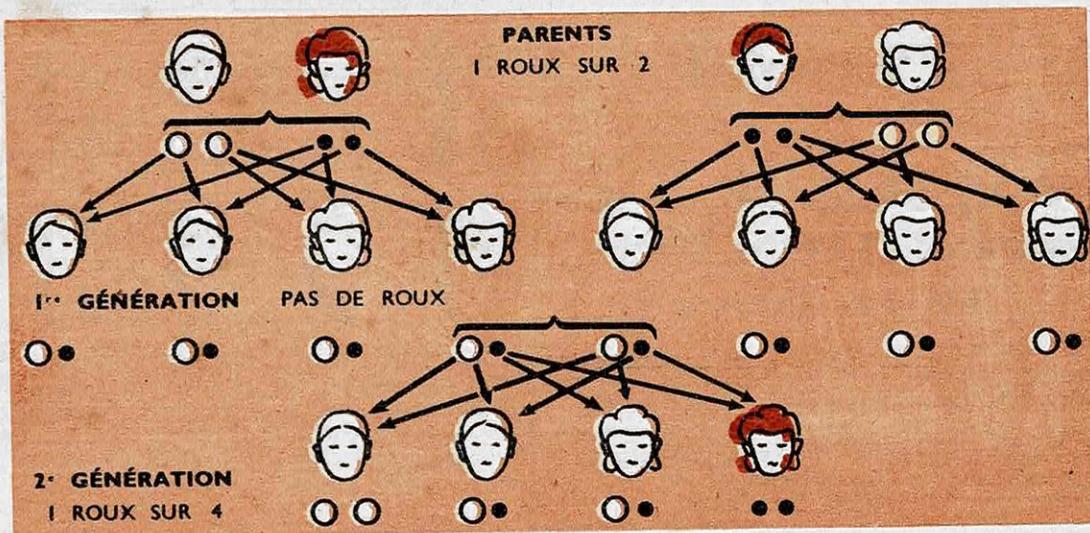
En règle générale, le gène demeure immuable et se transmet identique à tous les descendants, assurant la stabilité de l'espèce. Cependant, de loin en loin, par le jeu de facteurs encore mal déterminés, des changements de structure moléculaire peuvent se produire. Ce sont les *mutations de gènes* qui, lorsqu'elles portent sur les cellules germinales, entraînent l'apparition de caractères nouveaux, à leur tour héréditaires.

La théorie chromosomique de l'hérédité rend compte de trop nombreux faits d'observation et d'expérience pour ne pas exprimer l'essentiel de la réalité. Sa valeur explicative, en tout cas, est incontestable, en particulier pour les phénomènes d'hybridation et de disjonction indépendante des caractères.

Evidemment, les choses sont loin d'être aussi simples. Parfois, un gène suffit pour déterminer un caractère particulier, parfois il en détermine plusieurs, parfois l'apparition d'un caractère déterminé exige la présence simultanée de plusieurs gènes dont les effets s'additionnent en quelque sorte. Ces gènes « polymères » permettent la *sélection artificielle*, qui exige une grande patience pour parvenir à grouper, par des croisements judicieux, les gènes favorables dans un nombre restreint d'individus et isoler dans une espèce une lignée pure possédant le caractère souhaité.

La théorie chromosomique de l'hérédité explique aussi avec succès la détermination génétique du sexe. Chez de très nombreux animaux, une des paires de chromosomes se présente différemment dans les deux sexes.

(1) Les gènes représenteraient ainsi le principal support matériel des caractères héréditaires, mais il n'est pas impossible que des particules du cytoplasme cellulaire interviennent dans quelques rares cas (plantes panachées ou striées, facteur lait chez les souris cancéreuses, drosophiles sensibles au gaz carbonique). Le génome de la Drosophile a été assimilé par certains à un virus. Nous ne pouvons qu'évoquer ces questions encore mal élucidées.



**Hérédité de la roussure** chez l'homme. C'est un cas analogue à celui des souris de la page ci-contre. Le couple de facteurs opposés est le facteur « roux » (représenté par un point) et le facteur « non-roux » (représenté par un cercle), ce dernier facteur « dominant » le premier (d'après Barnett).

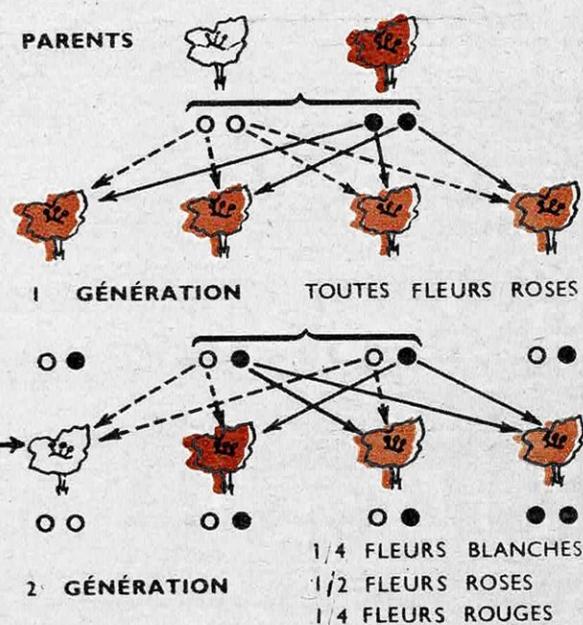
Ces différences chromosomiques entre mâles et femelles expliquent que certains caractères n'apparaissent que chez l'un ou l'autre sexe (hérédité liée au chromosome sexuel).

### Les remaniements des gènes dans le chromosome

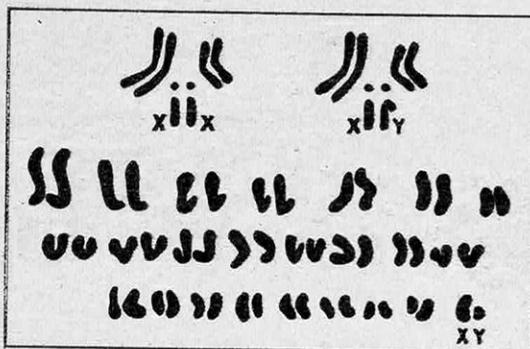
L'expérience montre, enfin, que les résultats de certains croisements semblent en contradiction avec la règle de la disjonction indépendante des caractères : certains groupes de caractères passent solidairement à la descendance. Par exemple, tout se passe, chez la Mouche *Drosophile*, comme si le gène de la couleur du corps était lié à celui de la longueur des ailes. On explique cette liaison (ce « linkage », comme disent les Américains) en admettant que ces deux gènes sont portés par le même chromosome. Deux gènes portés par des chromosomes différents sont évidemment indépendants.

Dernière complication, cette liaison entre gènes n'est pas absolue; il arrive que l'on trouve dans la descendance des individus où se manifeste une disjonction de caractères. Pour expliquer ce phénomène, Morgan a émis l'hypothèse de l'enjambement ou « crossing-

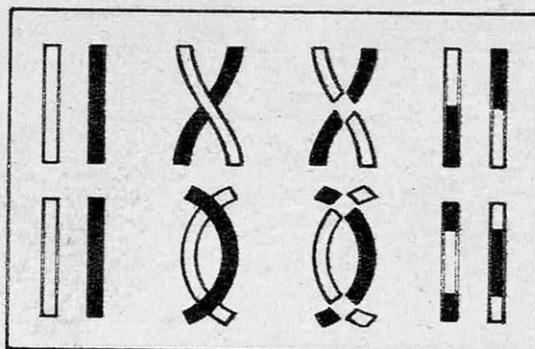
over », que schématise la figure page 34. En gros, lorsque, dans une des phases préparatoires à la formation des gamètes, les deux chromosomes sont accolés, il peut y avoir entrecroisement, suivi de coupure au niveau du chevauchement; l'extrémité d'un chromosome se souderait à l'autre partie du second, et les gènes se sépareraient. Si les gènes sont très rapprochés sur le chromosome, il y a peu de chances pour que le point de rupture passe entre eux. Ils se sépareront moins fréquemment que s'ils sont éloignés. C'est ce que vérifie l'observation.



**Les fleurs blanches et rouges** de *Mirabilis jalapa* offrent un exemple de disjonction dans un croisement entre deux lignées pures différent par un seul couple de caractères. Les hybrides, portant les deux facteurs, sont roses. En croisant ces hybrides, les facteurs se répartissent suivant les lois du hasard, d'où des fleurs blanches, roses et rouges dans les proportions indiquées: 1, 2 et 1.



**Chromosomes** de la Mouche du vinaigre (en haut) : il y en a quatre paires dont une dissymétrique chez le mâle. Chez l'homme (en bas), il y en a vingt-quatre paires dont une de chromosomes inégaux, alors que chez la femme ils sont égaux.



Le « **crossing-over** » est représenté dans ces exemples : des portions de chromosomes homologues peuvent ainsi s'échanger au cours de la formation des cellules reproductrices, et des caractères, habituellement groupés, être séparés.

### La création d'espèces nouvelles

Dans ce qui précède, il a été question de mutations affectant les gènes. D'autres mutations, spontanées ou provoquées, intéressent les chromosomes, modifiant soit leur structure intime, soit leur nombre. Nous dirons quelques mots de ces dernières (polyploïdie) en raison de leur importance pour la création d'espèces nouvelles.

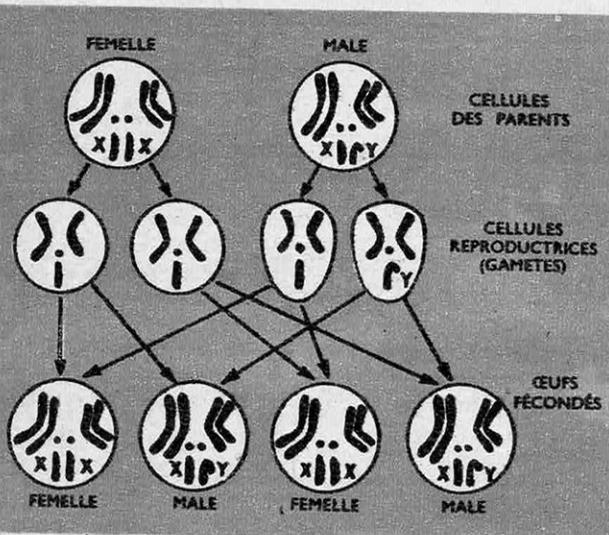
Normalement, les cellules d'un organisme possèdent un double jeu de chromosomes, elles sont « diploïdes ». Il arrive que certains individus portent trois ou quatre jeux de chromosomes, ils sont « polyploïdes ».

La polyploïdie animale est très rare et difficile à provoquer. Récemment, Rostand a réussi à l'obtenir chez le Crapaud par un choc thermique (refroidissement) sur l'œuf fécondé. Le plus souvent, on n'a pas dépassé, chez les Mammifères, les premiers stades du

développement embryonnaire. Deux Suédois, Haggqvist et Baur, ont cependant annoncé la naissance de deux Lapins triploïdes, tous deux de grande taille, mais leurs conclusions semblent un peu hâtives. Les recherches se poursuivent et seraient même étendues au porc.

Au contraire, la polyploïdie végétale est très répandue. On en distingue deux sortes. Dans la première, tous les lots de chromosomes sont ceux d'une même espèce ; on en trouve de nombreux exemples parmi les plantes horticoles, les céréales, les arbres fruitiers. La deuxième catégorie résulte de l'addition de jeux de chromosomes dissemblables à la suite d'une hybridation.

L'hybride, qui résulte du croisement de deux espèces différentes, est en principe stérile, car les stocks de chromosomes ne se correspondent pas et la division, pour la formation des gamètes, ne peut s'opérer. Le doublement de ses chromosomes, soit spontané, soit provoqué



← **La détermination génétique** du sexe : Le sexe mâle est, dans le cas envisagé, lié à la présence du chromosome Y différent du chromosome X. La division et la séparation des chromosomes pour la formation des cellules reproductrices, ovule et spermatozoïde, et leur conjonction suivant les lois du hasard, provoquent la formation en nombre égal de mâles et de femelles.

→ **Cas du daltonisme.** Le caractère « daltonien » est déterminé par un gène porté par le chromosome X, dominé par le caractère « non daltonien » porté par un chromosome semblable. Lorsqu'un homme daltonien épouse une femme normale, la première génération ne compte aucun daltonien, mais les filles portent le gène dominé. Si l'une d'elles épouse un homme normal, un des fils sur deux sera daltonien. Le cas d'une fille effectivement daltonienne exige une conjonction, beaucoup plus rare, de gènes défavorables.

(par la colchicine, par exemple), lui rend sa fertilité, les divisions pouvant alors s'opérer normalement. Par cette méthode, la nature et l'homme ont créé de véritables espèces nouvelles, particulièrement intéressantes : augmentation de la taille, tiges plus robustes, feuilles plus larges, fleurs et fruits plus gros, vigueur et résistance accrues.

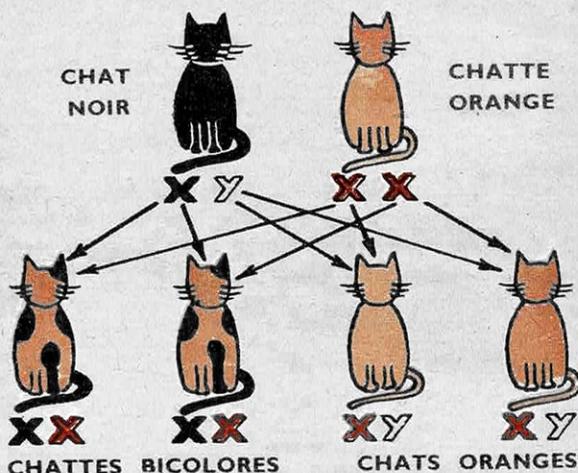
### La génétique et l'évolution

La génétique a-t-elle permis de mieux comprendre les mécanismes qui ont présidé aux transformations du monde vivant ?

La première théorie évolutive, le lamarckisme, attribuait les variations des formes aux modifications du milieu, les variations acquises devenant héréditaires. La plus grave critique est que, jusqu'à présent, toutes les expériences tentées pour démontrer l'hérédité des caractères acquis ont échoué.

Au lamarckisme a succédé le darwinisme. Darwin avait observé entre tous les êtres vivants une âpre lutte pour la vie ; cette lutte devait entraîner une sélection naturelle qui assurait la survivance du plus apte, et la sélection sexuelle transmettait au descendant les caractères les plus utiles. Pour Darwin, la sélection était le principal facteur de l'évolution. Parmi les objections soulevées par le darwinisme, il faut noter que la lutte pour la vie est loin d'être universelle et que toutes les variations individuelles ne sont pas héréditaires ; la sélection peut avoir une action quantitative, mais elle ne crée rien de nouveau.

Enfin, une troisième théorie explicative de l'évolution fut proposée par de Vries, vers 1901, le « mutationnisme ». La mutation, nous l'avons vu, est d'emblée héréditaire et comme telle présente une réelle valeur évolutive. La sélection interviendra alors efficace-

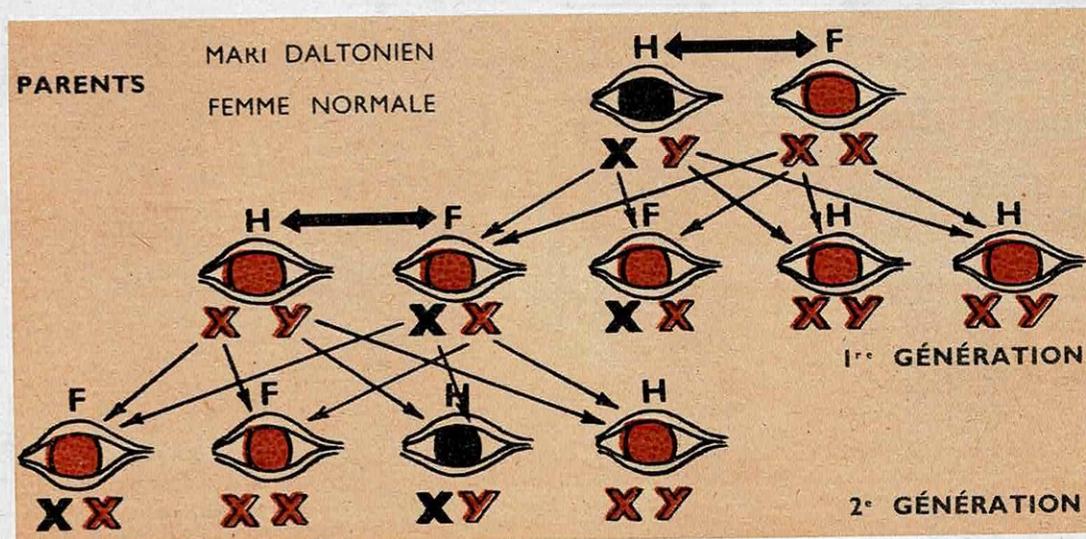


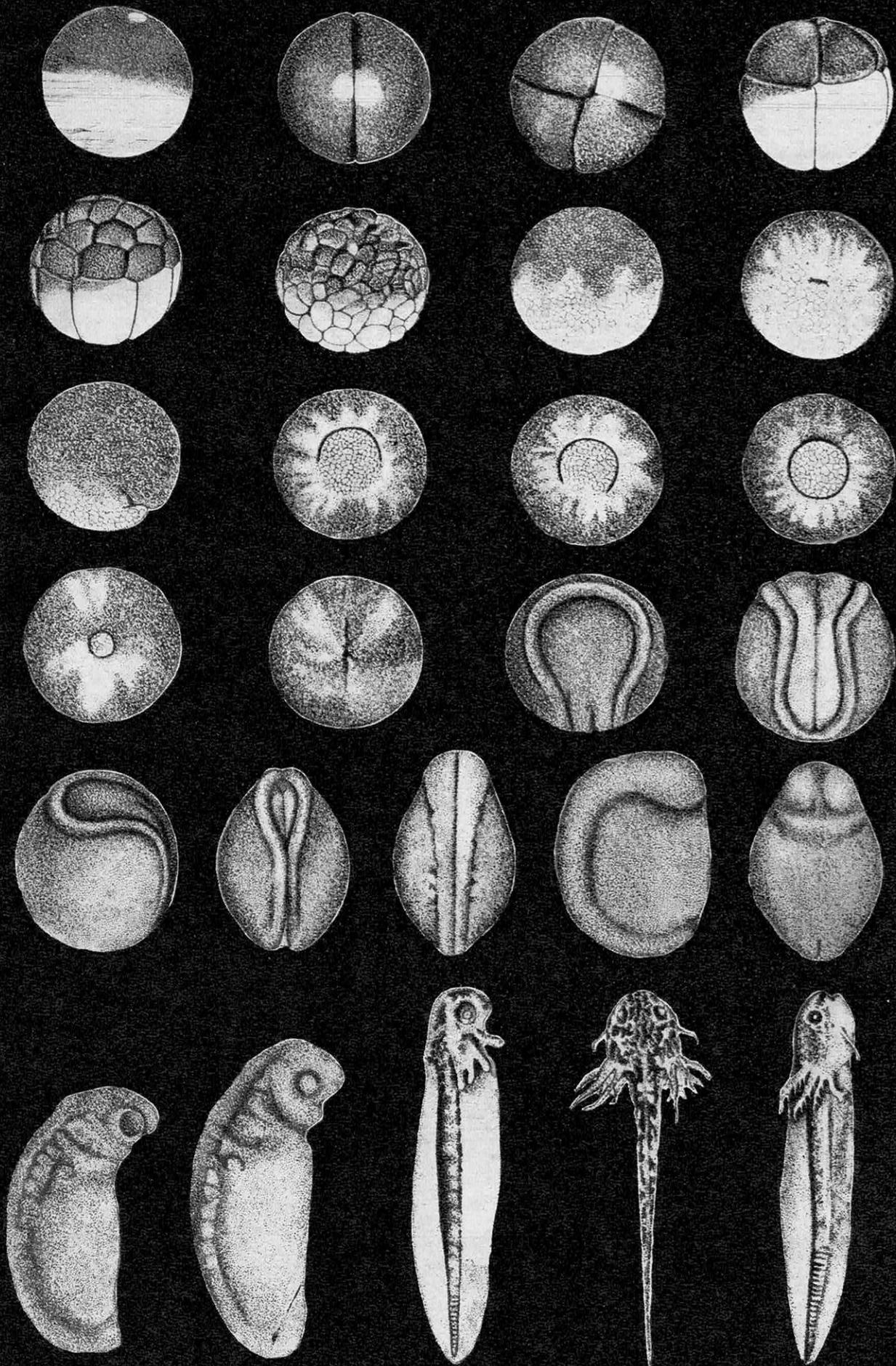
**L'hérédité liée au sexe** apparaît dans cet exemple de croisement d'un chat noir et d'une chatte orangée. Les couleurs étant déterminées par un gène porté par le chromosome X, un animal bi- ou tricolore par addition de blanc, est toujours une chatte qui seule peut avoir les deux gènes.

ment pour favoriser le maintien d'espèces nouvelles si la mutation est favorable, leur disparition si elle est défavorable. Dans un milieu stable où vit une espèce bien établie, la sélection maintiendra le type en éliminant les mutants ; mais si les conditions du milieu changent, la sélection favorisera les mutants porteurs des caractères les plus avantageux.

Comme les théories précédentes, le mutationnisme n'échappe pas à la critique. Il explique, d'une façon assez satisfaisante, ce que l'on peut appeler la « microévolution », c'est-à-dire les phénomènes observés dans l'espèce, voire dans le genre. Mais il est incapable de faire comprendre la naissance des types fondamentaux d'organisation, la « macroévolution ».

Andrée TÉTRY





# Les grandes étapes de l'évolution de l'individu

## GÉNÉRATION, CROISSANCE, VIEILLISSEMENT, MORT

LORSQUE le Dr Faust vend son âme au Diable en échange de la jeunesse et de l'amour, il traduit l'une des aspirations les plus profondément enracinées dans l'esprit humain : vivre dans la plénitude de ses fonctions. Mais ce rêve éternel se heurte à une inexorable constatation : l'évolution fatale de tout organisme est étroitement limitée entre la naissance et la mort.

Il est en effet banal de constater que la vie individuelle est de courte durée, quelques décades pour les Vertébrés les mieux partagés à cet égard, quelques siècles pour certaines espèces végétales, tels les grands arbres de nos forêts. Cependant une telle durée, appréciée à l'échelle du temps géologique, ou plus simplement à celle de l'espèce à laquelle l'individu appartient, reste toujours modeste. Elle est même dérisoire pour de nombreux organismes inférieurs. Elle est souvent annuelle ou de quelques jours, voire de quelques heures.

### Les phases du développement

Périodiquement, après avoir atteint la différenciation structurale de l'adulte, l'organisme doit revenir à un état plus simple, exactement à l'état unicellulaire que représente la cellule-œuf. A partir de celle-ci un nouvel être, relayant le parent, assurera la pérennité de la lignée. Nous aurons à voir dans quelle mesure ce cycle est inexorable, mais il est certain que, dans les conditions normales, il se présente chez les êtres vivants avec une généralité telle qu'on considère les faits de la reproduction comme un des caractères conférant à la vie sa grande originalité, et comme l'un des principaux critères permettant de définir le vivant.

---

**De l'œuf au têtard.** Ce tableau représente le développement du Triton depuis l'œuf jusqu'à la larve qui nage et commence à se nourrir seule.

Il est commode, pour l'exposé des faits, de découper en quelques grandes étapes les phases de l'évolution d'un individu (nous limiterons au règne animal et aux êtres pluricellulaires) :

— Le point de départ est l'*œuf fécondé* qui contient en puissance tous les caractères de l'espèce. Celle-ci est donc représentée au début du cycle sous une forme relativement simple, par l'état unicellulaire.

— Puis l'œuf se segmente et se partage en un grand nombre de cellules-filles qui, après une suite de mouvements complexes et de différenciations, édifient un embryon. C'est la *phase embryonnaire*. On convient en général de considérer qu'elle s'achève au moment où l'organisme commence à mener une vie libre : ce sera, pour la grenouille, l'apparition du jeune têtard qui nage, pour le poulet la sortie de la coquille, pour le mammifère la naissance du fœtus.

— Une période *d'activité fonctionnelle* commence alors. Elle correspond à la phase libre et couvre le reste de la vie de l'individu. Elle suppose que celui-ci est constitué en une unité harmonieuse, manifestant une adaptation constante aux variations du milieu et capable finalement de se reproduire.

Plusieurs étapes peuvent être définies. Au début, le jeune, dont l'organisation d'ensemble et l'aspect peuvent être ceux de l'adulte à la taille près (Oiseaux, Mammifères), ou en différer profondément s'il s'agit d'une larve (Insectes, Batraciens), subit une rapide *croissance*. Chez les espèces présentant des formes larvaires, on assiste, après un temps variable, à une transformation brutale : c'est la *métamorphose*.

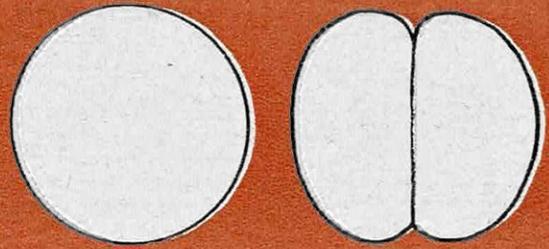
L'organisme devenu adulte se reproduit et subira dès lors peu de transformations. Cet état dure plus ou moins longtemps. Sous l'angle humain, nous sommes habitués à le considérer comme essentiel ; mais pour le biolo-

**Le développement de l'œuf** d'Oursin fécondé part d'une cellule sphérique d'environ 0,1 mm de diamètre. La première division s'effectue par un plan méridien passant par les pôles animal et végétatif, la seconde par un plan méridien, la troisième par un plan équatorial. Les segmentations se succédant avec des modalités de plus en plus complexes, on arrive au stade « morula » (petite mûre), puis « blastula » (avec une cavité centrale). Au stade « gastrula » une dépression en doigt de gant figure le futur tube digestif et les trois feuillettes, endoderme, mésoderme et ectoderme, se mettent en place. L'édification des organes se poursuit jusqu'à la constitution de la larve « Pluteus », en forme de tétraèdre, avec quatre bras soutenus par des tiges calcaires (spicules) et entourant la bouche.

giste tout est désormais joué, et déjà le cycle touche à son terme. Beaucoup d'organismes meurent d'ailleurs après s'être reproduits : les Ephémères vivent quelques heures et disparaissent après l'accouplement et la ponte ; le Hanneton, qui a préparé pendant les trois ans de sa vie larvaire souterraine son état d'insecte ailé, n'aura en fin de compte que quelques journées du printemps pour vivre à la lumière.

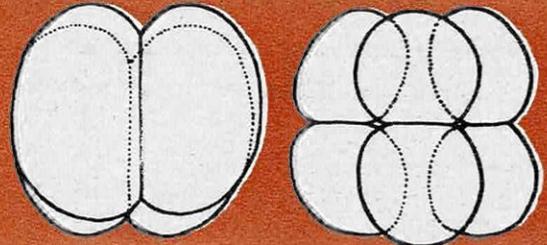
Lorsque l'état adulte est atteint et dure, on assiste, après une période d'apparente stabilité, à l'installation de l'état de *sénescence*. Les facteurs d'assimilation, d'élaboration, de réparation sont de plus en plus dominés par les facteurs de désassimilation : l'organisme est à la merci d'un accident physiologique d'origine externe ou interne. C'est la *mort*, la fin de l'individualité.

Au total, tout le cycle s'est déroulé comme s'il devait aboutir, lors de son point le plus élevé, à la préparation et l'émission des produits sexuels, c'est-à-dire à la préparation d'un nouvel œuf. Samuel Butler, écrivain anglais contemporain de Darwin, résume ce fait dans une boutade pittoresque qui est restée célèbre : « La poule n'est qu'un simple moyen pour l'œuf de donner naissance à un autre œuf. »



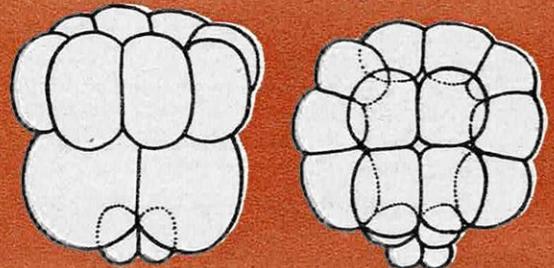
ŒUF FÉCONDÉ

STADE 2



STADE 4

STADE 8



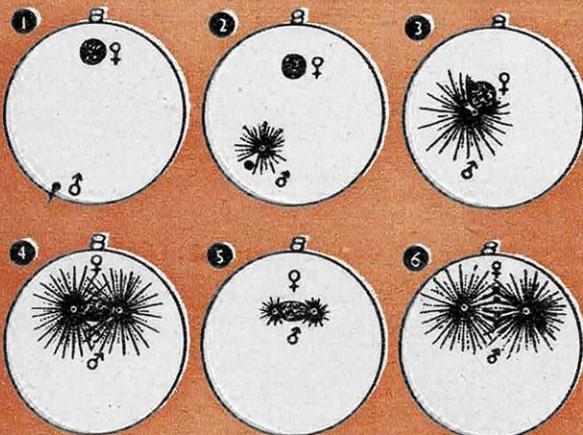
STADE 16

MORULA

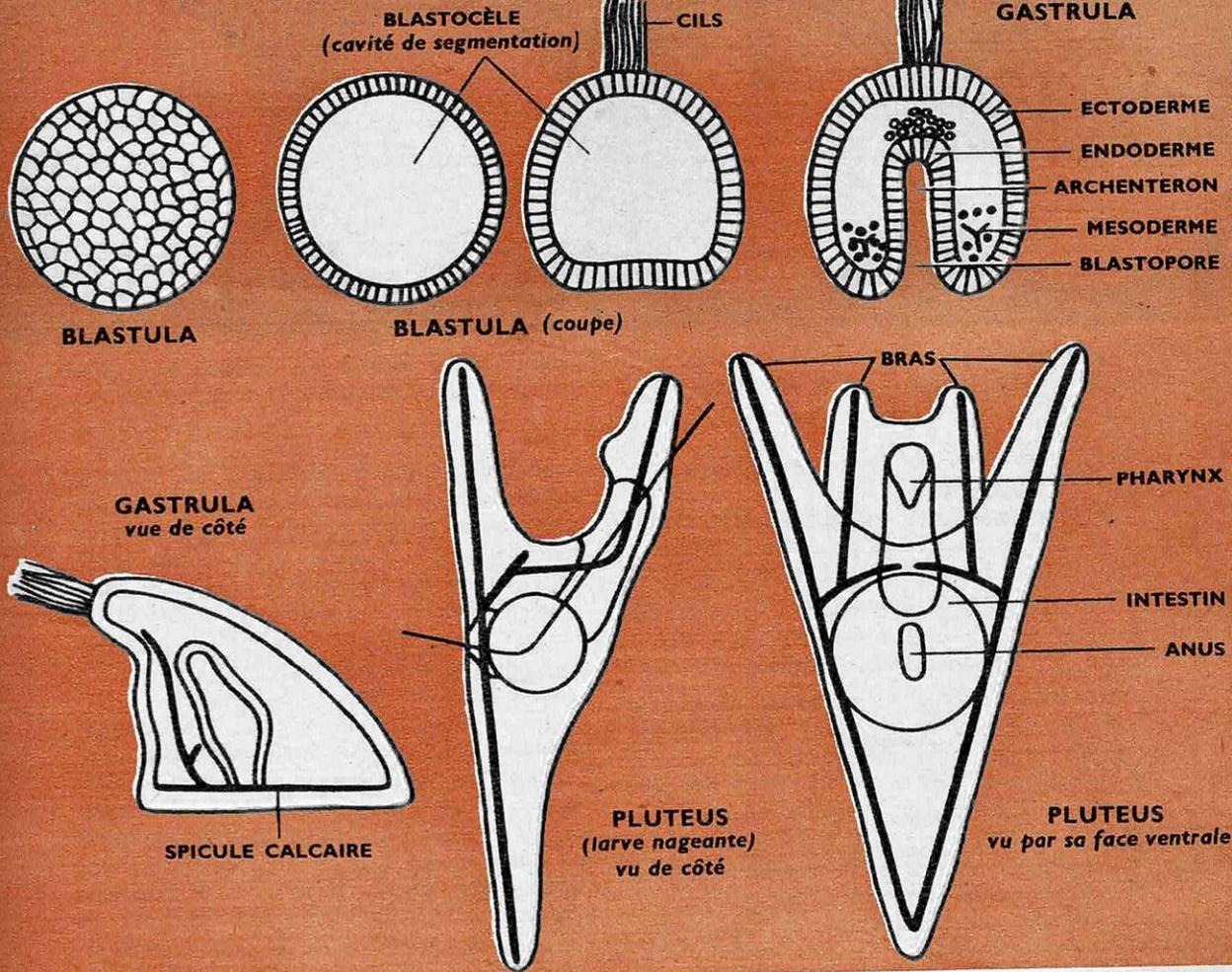
### Les Gamètes

L'œuf, point de départ du cycle évolutif de l'individu, est une cellule spéciale qui résulte de l'association de deux cellules appelées gamètes, élaborées dans les glandes génitales (gonades) des parents. Chez les animaux supérieurs, les glandes génitales sont portées par deux êtres différents, le mâle et la femelle. Cependant, il existe de nombreux animaux *hermaphrodites* (tel l'Escargot), où les gonades mâles et femelles se développent côte à côte sur le même individu.

Il arrive chez certaines espèces (Pucerons, Crustacés Cladocères comme les Daphnies), que les mâles soient absents pendant toute une série de générations. Les femelles pondent des œufs qui se développent sans avoir été fécondés et donnent une nouvelle génération. C'est



**Phases de la fécondation** d'un œuf d'Oursin : (1) le spermatozoïde pénètre dans l'œuf ; (2) le noyau mâle émigre vers le noyau femelle marqué d'une croix ; (3) les deux noyaux entrent en contact ; (4-5) les deux noyaux se fondent en un seul ; (6) les chromosomes s'individualisent pour la première division du noyau.



la *parthénogénèse*. Ce développement de l'œuf vierge a pu être reproduit expérimentalement sur l'œuf d'ousin, de grenouille, de lapine. C'est cependant un phénomène secondaire et la reproduction sexuée reste le fait général.

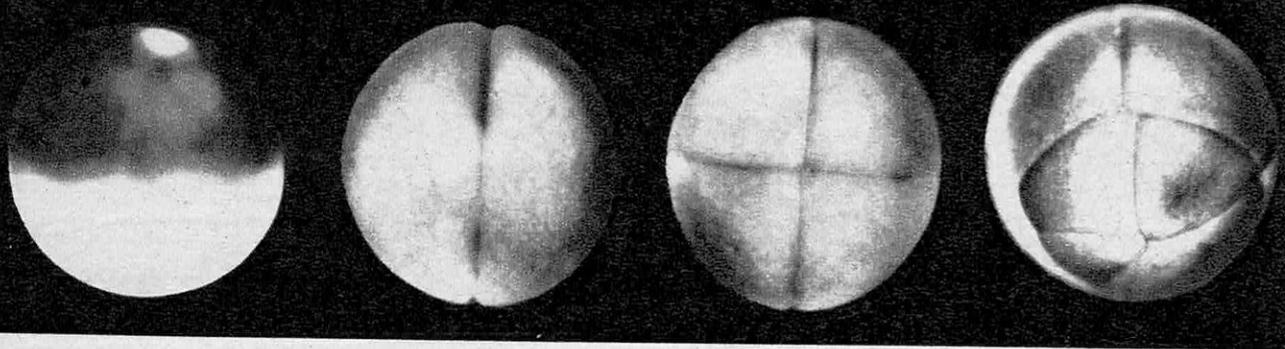
Les gamètes, spermatozoïdes et ovules, s'élaborent respectivement dans le testicule et l'ovaire. Leurs cellules mères, spermatogonies et ovogonies, conservent les caractères des cellules embryonnaires et gardent intactes les potentialités totales de l'espèce. Leur noyau joue un rôle capital dans les phénomènes d'hérédité grâce aux *chromosomes* qu'il contient et qui se présentent comme des filaments portant, suivant un ordre et une position bien définie, les *gènes*, vecteurs des propriétés héréditaires. La forme, le nombre des chromosomes, sont constants pour une espèce donnée (l'homme, par exemple, en possède 48). Ils sont disposés par paires et, dans chaque paire, l'un des éléments provient du père, l'autre de la mère.

L'ovule est une grosse cellule, immobile et chargée de réserves nutritives, qui présente une polarité. L'un des pôles, plus pauvre en réserve, est le pôle animal; l'autre est dit végétatif.

Le spermatozoïde est au contraire une cellule petite et très mobile. Il présente une tête renflée dans laquelle les chromosomes se trouvent rassemblés en une masse compacte. Une queue ou flagelle, que l'on peut considérer comme un gros cil vibratile, assure la mobilité de cette cellule.

La remarquable propriété des gamètes de pouvoir s'associer en une cellule unique qui sera l'œuf, pose une question fondamentale. La fécondation réalisant la fusion des noyaux du spermatozoïde et de l'ovule, le nombre des chromosomes doublerait à chaque génération si un mécanisme régulateur ne le réduisait, au préalable, de moitié pour chaque gamète.

Ce phénomène régulateur a reçu le nom de « méiose ». Il se produit au moment où s'édifient les gamètes. En bref, la méiose consiste en deux divisions cellulaires, aboutissant à quatre gamètes ou leur équivalent. Mais au lieu que chaque chromosome se clive chaque fois longitudinalement comme dans une division cellulaire normale, ce phénomène se produit seulement dans une des deux divisions. Dans l'autre, les chromosomes de chaque paire se séparent seulement l'un de l'autre, et chacun gagne un des noyaux-fils



**Stades initiaux** du développement de l'œuf de Triton. De gauche à droite, les photos repré-

sentent : l'œuf fécondé frais pondu ; la division en deux cellules, en quatre, puis en huit cellules.

qui n'a donc que la moitié du nombre normal des chromosomes.

Le phénomène de la fécondation a une très grande généralité chez les animaux comme chez les végétaux. On peut en avoir une bonne idée en l'observant chez l'Oursin.

### La fécondation

Si nous découpons en morceaux une glande femelle mûre d'oursin dans une coupelle remplie d'eau de mer, des milliers d'œufs se détachent et tombent sur le fond. En opérant de même avec une glande mâle, l'eau de mer prend un aspect laiteux dû aux spermatozoïdes. Il suffit d'ajouter quelques gouttes de cette eau dans la première pour réaliser une fécondation dont l'observation est facile à suivre au microscope.

Les spermatozoïdes, attirés par les ovules, les bousculent littéralement. Très vite, un spermatozoïde pénètre, tel une pointe de flèche, dans la pellicule d'un ovule. La queue se détache et la tête s'enfonce peu à peu dans le cytoplasme. A ce véritable impact, l'ovule réagit et soulève autour de lui une membrane, la *membrane de fécondation*, qui désormais empêchera la pénétration d'autres spermatozoïdes.

La tête du spermatozoïde chemine vers le noyau femelle et s'associe intimement à lui. On voit alors se former le fuseau de la première division de segmentation cellulaire. Les chromosomes s'individualisent et se clivent. L'œuf fécondé se divise en deux cellules ou *blastomères*, puis en quatre. C'est le début du développement embryonnaire.

### Le développement embryonnaire

Dans l'étude du développement embryonnaire, deux groupes d'organismes se sont révélés un matériel de choix : d'une part, les Echinodermes et plus particulièrement les Oursins ; de l'autre, les Batraciens avec les Grenouilles et les Tritons.

C'est l'Oursin qui nous donne l'exemple le plus simple et le plus classique du développe-

ment d'un embryon. Une série de segmentations le transforme en une masse de cellules (blastomères), de plus en plus petites dont l'ensemble rappelle d'abord une petite mûre, d'où le nom de *morula* donné à ce stade. Très rapidement, les cellules s'arrangent en une assise superficielle unicellulaire qui délimite une *cavité de segmentation* ou *blastocèle*. C'est le stade *blastula*.

Dès ce stade, on a pu repérer la destinée normale des divers territoires cellulaires. L'hémisphère animal et les blastomères végétatifs qui sont situés juste au-dessus de l'équateur fourniront un feuillet appelé *ectoderme* qui édifiera, en particulier, les formations superficielles de la larve ; les blastomères végétatifs inférieurs donneront naissance à l'*endoderme* qui fournira le tube digestif et ses dérivés. Quant aux micromères, petites cellules localisées près du pôle végétatif, ils édifieront le squelette de la larve et représentent l'amorce d'un troisième feuillet, le *mésoderme*. L'existence de ces trois feuilletts a une *très grande généralité* chez les organismes supérieurs.

Après quelques heures, la forme sphérique de la blastula s'altère. La région du pôle végétatif s'aplatit et les micromères se détachent et tombent dans la cavité de segmentation. La plus grande partie de l'hémisphère végétatif continue à se creuser en doigt de gant et on a ainsi un germe à deux feuilletts : l'un est externe (ectoderme), l'autre forme un cul de sac, c'est le futur tube digestif ou *archentéron*. Son ouverture est la bouche primitive ou *blastopore*. En même temps, le troisième feuillet ou mésoderme se met en place. Il est constitué par les micromères tombés dans le blastocèle et par des cellules qui se détachent du fond du cul de sac de l'archentéron et s'organisent de part et d'autre en deux vésicules qui seront les *vésicules cœlomiques* ; le mésoderme donnera les éléments du sang, les glandes génitales, les organes excréteurs et le tissu de soutien. Ce mode de formation est général chez les métazoaires supérieurs, y compris les Vertébrés. Chez l'Oursin,

c'est la simplicité avec laquelle les feuilletts et leurs dérivés apparaissent et se mettent en place qui en facilite l'étude.

La formation du tube digestif primitif et la mise en place du mésoderme aboutissent ainsi à un type larvaire absolument remarquable, la *gastrula*. Grâce à la position des vésicules cœlomiques, le germe a acquis une symétrie bilatérale : il possède une moitié droite et une moitié gauche, alors qu'initialement il possédait une symétrie axiale.

Le stade *gastrula* est suivi de remaniements et par l'édification des principaux organes du germe qui aboutissent à la larve nageante classique, le *pluteus* que l'on trouve souvent dans le plancton marin. Le petit oursin définitif se constituera à l'intérieur du *pluteus* au cours d'une métamorphose très complexe.

### Les particularités de l'œuf de Grenouille

Dans nos régions, les Grenouilles rousses se reproduisent dans la première quinzaine de mars, et il est facile de trouver dans les étangs les volumineuses masses que constituent les pontes. L'examen d'une de ces pontes nous la montre formée par quelques milliers d'œufs. Chacun est une cellule sphérique mesurant sensiblement 1,8 mm de diamètre, entourée d'une gangue muqueuse qui, lors de l'émission, gonfle rapidement au contact de l'eau. La masse gélatinée des pontes atteint ainsi un volume comparable à celui d'une tête humaine.

Dans cette masse, la polarité de l'œuf frais pondu se distingue par une coloration particulière. L'hémisphère dit animal est noir, avec au pôle supérieur une tache plus claire. Le noyau femelle est situé juste au-dessous de la pellicule de l'œuf, au centre de la tache. Au-dessous de l'équateur, la coloration noire décroît rapidement et l'hémisphère dit végétatif est dans sa plus grande partie blanc. Environ 1 h 30 après la fécondation, un remaniement profond s'est opéré dans l'œuf. Il se traduit extérieurement par l'apparition d'une sorte de croissant situé au-dessous de l'équateur et dans lequel la pigmentation sombre est diluée. Ce « croissant gris » se forme à cheval sur le plan déterminé par l'axe « pôle animal - pôle végétatif » et le point d'entrée du spermatozoïde. Ce sera le plan de symétrie bilatérale du futur embryon : le côté où se trouve le croissant gris sera le dos et la région du pôle animal correspondra à la tête. La fécondation fait donc apparaître l'architecture de l'adulte futur.

Environ 2 h 30 après la fécondation, la segmentation commence et se poursuit inégalement en ce sens que l'inertie des réserves

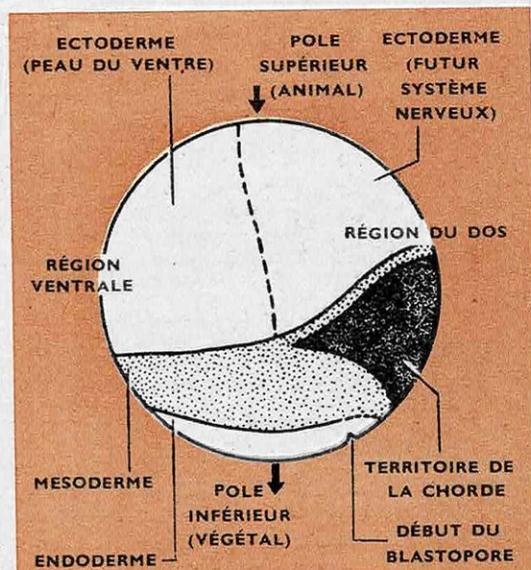
la freine dans l'hémisphère végétatif. Aussi les blastomères végétatifs sont-ils plus gros que les blastomères animaux. Finalement, l'œuf, sans avoir changé de volume, se trouve découpé en quelques milliers de cellules et arrive au stade *blastula*.

La gastrulation réalisera par la suite un germe dans lequel les trois grands feuilletts classiques seront mis en place. Ici les mouvements sont beaucoup plus complexes que chez l'Oursin. C'est seulement depuis une trentaine d'années qu'on a pu préciser leur allure grâce à la technique des marques colorées.

### La technique des marques colorées

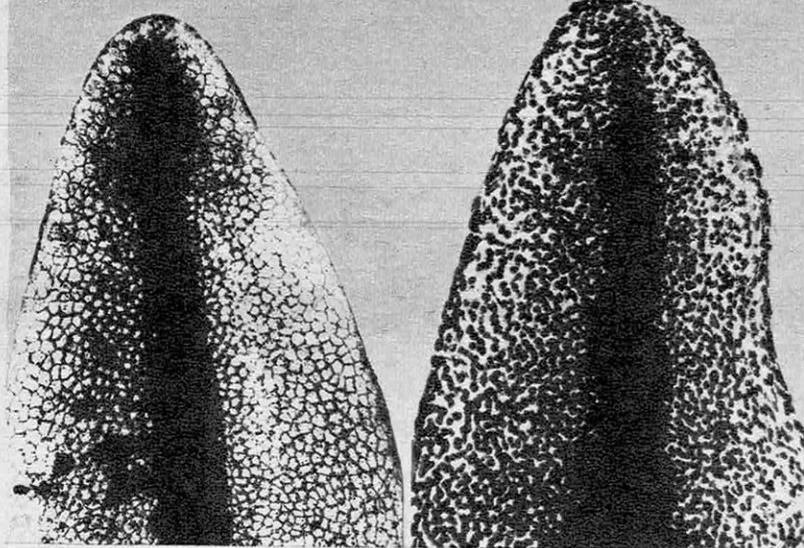
Le principe de la technique est simple : on colore une lame de gélose et on la découpe en menues pastilles que l'on applique sur l'œuf aux emplacements choisis. Le colorant diffuse rapidement sans déborder l'aire d'application. Il suffira de suivre les déplacements et déformations d'une marque donnée, et de la retrouver par dissection, pour voir quel feuillet, quel tissu aura pris naissance à partir d'un groupe cellulaire donné. On dressera ainsi une carte de territoires présomptifs de la *blastula* âgée ou de la jeune *gastrula*.

Les résultats majeurs sont les suivants : il existe à la surface de la jeune *gastrula* trois grandes zones correspondant aux trois feuilletts fondamentaux. La partie supérieure du germe correspond à l'ectoderme ; le territoire dorsal fournira le système nerveux ; le territoire ventral représente l'épiderme futur et les glandes de la peau. Au-dessous s'étend une zone dite marginale qui ceinture le germe



Carte des territoires présomptifs dans un œuf de Triton arrivé au stade « blastula ».

**Les cellules** dont sont constitués les organismes vivants comportent chacune un cytoplasme et un noyau. Ci-contre, à gauche, l'extrémité d'une queue de jeune larve a été traitée de manière à mettre en évidence les limites cellulaires ; à droite, par un traitement différent, ce sont les noyaux des cellules qui apparaissent ; plus à droite, grâce à un très fort grossissement, on voit les chromosomes d'une cellule en cours de division. La photographie suivante ne montre que le détail des noyaux, où est mise en évidence leur réseau de chromatine qui préfigure les chromosomes.



de part et d'autre de l'équateur et descend vers le pôle végétatif : elle est plus large dans la région dorsale où elle englobe le croissant gris et représente le futur mésoderme. Sur le dos, un territoire en forme de patte d'ancre représente l'axe squelettique du futur embryon, la *notochorde* : il donnera une tigelle autour de laquelle se formeront les vertèbres. De chaque côté des pattes de l'ancre s'étend le territoire des futurs muscles dorsaux. Puis, suivant la direction ventrale, nous trouvons l'aire des lames latérales d'où dériveront plusieurs organes : rein, glandes génitales, cœur, péritoine. Enfin, au-dessous de la zone marginale occupant la calotte végétative, on trouve l'endoderme qui donnera naissance au tube digestif, à l'appareil respiratoire, au foie, au pancréas. Ainsi, avant tout mouvement des nappes cellulaires on peut dire que le décor est planté et que le corps de ballet est en place. Cette image est à peine forcée, car, à l'échelle de l'embryon, c'est bien un ballet admirablement réglé qui va se dérouler.

Le mouvement débute par une petite encoche superficielle dans la partie dorsale, c'est le début de la bouche primitive, la lèvre dorsale du blastopore. Les cellules commencent à s'enfoncer et toute la zone dorsale marginale va se retourner à l'intérieur pour former le toit du tube digestif, de l'archentéron. Progressivement, la lèvre dorsale s'étend sur les côtés, le blastopore prend la forme d'une anse de panier, puis d'un fer à cheval. Finalement, les extrémités des lèvres se joignent et le blastopore devient circulaire. Puis il se ferme de plus en plus comme l'ouverture d'une bourse dont on serre les cordons, et il ne reste qu'une mince fente, bientôt virtuelle : le futur anus. Cette phase aboutit au stade gastrula et à la mise en place des trois feuillettes : à l'extérieur, l'ectoderme, à l'inté-

rieur l'endoderme et, coincé entre les deux, le manteau de mésoderme. Déjà l'examen d'une coupe transversale préfigure celle d'un Vertébré.

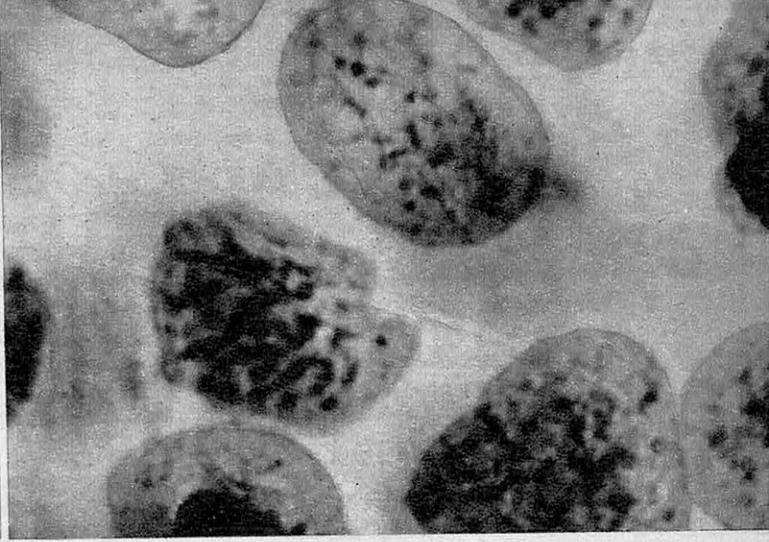
Vers la fin de la gastrulation, l'embryon commence à s'étirer en longueur selon l'axe primitif, pôle animal — pôle végétatif. Alors commence un nouveau stade, la *neurula*, au cours duquel se constitue le système nerveux cérébro-spinal à partir d'une région limitée de la partie dorsale de l'ectoderme.

À la fin de la neurula, l'amorce de la queue commence à pousser. En avant, la tête s'annonce, des bourgeons branchiaux se dessinent latéralement, les vésicules correspondant aux narines, aux yeux, aux oreilles, se laissent reconnaître sous l'ectoderme. Ce n'est qu'après l'éclosion que la bouche se percera pour faire communiquer le cul de sac de l'archentéron avec le pharynx.

En fait, on peut dire qu'aussitôt terminé le stade de neurula, le jeune Vertébré, ici c'est le têtard, est virtuellement constitué. Les grandes masses organiques sont mises en place et, si elles continueront à se différencier au début du stade têtard, tout est déjà joué dans le grand spectacle qu'est le modelage d'un nouvel organisme.

Chez les Vertébrés supérieurs, le développement de l'œuf est compliqué par l'existence de structures secondaires.

Chez les Reptiles et les Oiseaux, l'œuf est gros, très fortement chargé en réserves. Ainsi le jaune de l'œuf de poule, qui représente la cellule-œuf, est un peu comme un œuf de Batracien auquel on aurait insufflé une volumineuse masse de réserve nutritive dans la région végétative. La région à partir de laquelle s'édifie l'embryon est réduite à une mince calotte située au pôle animal, la cicatricule. La segmentation se limite à cette



calotte et l'embryon est comme couché au-dessus de ses réserves qu'il résorbe progressivement. En outre, il se forme deux annexes embryonnaires, l'amnios et l'allantoïde, organes transitoires qui disparaissent à l'éclosion.

Chez les Mammifères, l'œuf est petit, de l'ordre de 0,2 mm. Les stades initiaux de la segmentation rappellent encore ceux des Echinodermes, mais la situation se complique du fait de la vie fœtale intra-utérine. En plus de l'amnios et de l'allantoïde, une troisième annexe, le placenta, assure les échanges avec la mère. Cependant, la mise en place des feuilletts et des organes fondamentaux se présente dans l'ensemble comme chez les Batraciens.

En dépit d'une complexité croissante lorsqu'on s'élève dans l'échelle animale, on doit constater que les grandes étapes de l'embryogénèse : œuf et fécondation, segmentation, gastrulation, définition, mise en place et évolution des trois feuilletts, formation des organes, se retrouvent toujours et se présentent, en dépit de variations de détail, avec une grande unité fondamentale. C'est un des principaux arguments de la théorie évolutionniste.

Jusqu'ici, nous avons vu le côté purement descriptif des phénomènes. Il était dans l'ordre des choses que les esprits s'efforcent d'en analyser le déterminisme. C'est ainsi qu'est née, à partir de 1880, l'embryologie dite causale, ou encore expérimentale.

### L'embryologie expérimentale

Le problème général est relativement simple. Au départ, nous avons un œuf, c'est-à-dire une cellule dont la complexité est infiniment moindre que celle d'un organisme adulte. Pourtant, tout doit s'y trouver en puissance. Comment peut-on concevoir les facteurs internes qui vont agir ?

Deux théories ont dominé l'embryologie.

Pour les *préformistes*, l'œuf serait une mosaïque, un puzzle de parties préfigurant l'adulte futur, et le développement serait l'émergence progressive des pièces du puzzle correspondant aux divers organes.

Pour les *épigénétistes*, les diverses parties de l'œuf n'ont pas une destinée absolument fixée, telle région peut se substituer à une autre pour édifier tout ou partie d'un feuillet, d'un organe. Le développement n'est pas l'émergence des structures préalablement définies et absolument fixées dans leur nature, mais une succession d'étapes hiérarchisées au cours desquelles la diversification du germe apparaît progressivement, par une suite d'états de complexité croissante où chaque stade commande le suivant.

C'est à partir de 1887 que le problème fut transposé sur le plan expérimental. Un jeune embryologiste français L. Chabry, publia cette année-là un mémoire sur le développement des œufs d'un Prochordé, une Ascidie de nos côtes. Il travaillait au laboratoire de Concarneau et, ayant mis au point le premier micro-manipulateur, il réussit à tuer l'un des blastomères de l'embryon au stade deux. Dans ces conditions, il constata que s'il tuait, par exemple, le blastomère droit, il obtenait un demi-embryon gauche. Cela signifie que, dès le stade deux, la destinée de chaque blastomère est fixée. Si on détruit un territoire du germe, la partie qui reste vivante est incapable de compenser l'effet de la lésion : il n'y a pas de *régulation*. Tout se passe comme si l'œuf avait une structure en mosaïque. L'expérience parle donc en faveur du concept préformiste. On a constaté depuis que d'autres œufs ont un comportement analogue.

Peu de temps après les expériences de Chabry, en 1891, un embryologiste allemand H. Driesch réalisait une expérience du même

type, mais avec l'œuf d'Oursin. On peut, au stade deux, séparer les blastomères. Dans ce cas, chaque blastomère isolé donne, non pas un demi-pluteus, mais un pluteus entier harmonieusement constitué bien que plus petit, puisque le matériel de base est plus réduit. Un blastomère isolé au stade quatre est encore capable d'édifier un pluteus entier. Une partie du germe est donc capable, par *régulation*, de dépasser sa prestation normale.

La découverte de la régulation fut étendue à un certain nombre d'autres germes, œuf de Triton, d'Oiseau, etc. Chez l'Homme, il arrive que l'œuf fécondé se divise en deux, trois, quatre et même cinq cellules qui vont désormais évoluer pour leur propre compte donnant deux, trois, quatre, cinq jumeaux vrais. Ceux-ci ont exactement la même constitution héréditaire, ils sont donc du même sexe et leur ressemblance se traduit dans d'infimes détails. Ils diffèrent fondamentalement des faux jumeaux qui, provenant d'œufs indépendants, n'ont pas la même constitution héréditaire et ne se ressemblent pas autrement que comme frères et sœurs.

### Quand se produit la détermination ?

Au début de ce siècle, on était arrivé ainsi à la notion qu'il y avait deux catégories d'œufs, les uns du type mosaïque, les autres capables de régulation. En fait, on a pu montrer que cette vue n'était pas juste : un œuf mosaïque peut subir une régulation, et tout germe doué de pouvoir régulateur acquiert finalement un état de mosaïque. En réalité, il existe dans tout œuf un processus de *détermination* qui progresse avec le développement. Retenons deux exemples.

L'œuf d'Ascidie au stade deux est du type mosaïque, mais si, avant la fécondation, on coupe un œuf d'ascidie en deux et si on féconde chaque moitié, on peut obtenir deux embryons complets. A ce stade précoce, l'œuf d'Ascidie se comporte comme celui d'un Oursin. Il est de type régulateur.

On peut réaliser une expérience inverse chez les Batraciens. Jusqu'au début de la gastrulation, la section longitudinale d'un germe de Triton permet d'obtenir deux têtards entiers. Mais plus tard, au stade neurula, l'état de mosaïque étant atteint, si on coupe la portion animale correspondant à la future tête et si on met ce fragment en culture, seule une tête complète se développera. Le fragment complémentaire aurait fourni un tronc avec moëlle, muscles, intestin, queue et même membres, mais sans tête.

D'une façon générale, aux stades initiaux du développement, le potentiel de différenciation d'une cellule ou d'un groupe de cellules donné n'est pas limité seulement à ce que ces

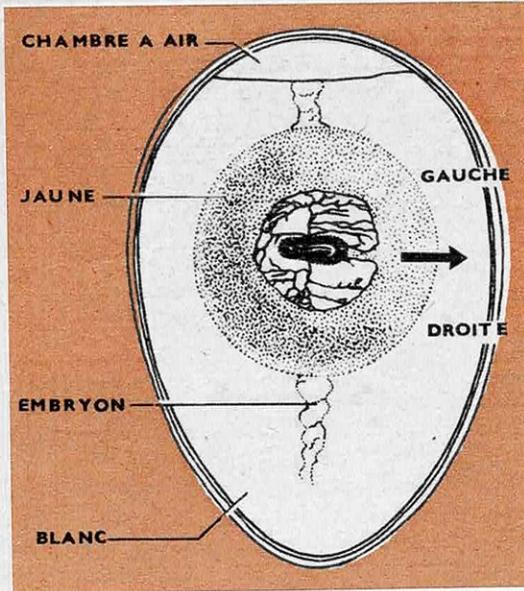
cellules édifient réellement dans un germe normal intact. Les cellules en cause ne sont pas unipotentes, mais pluripotentes. C'est pour cette raison que la régulation est possible. Progressivement, au cours du développement, à des stades variables selon les espèces et les organes, les diverses régions du germe acquièrent leur détermination et un état mosaïque se trouve réalisé, même lorsqu'aucune différenciation n'est visible. Le passage de la régulation à la mosaïque est un phénomène d'ordre chronologique.

L'étude des progrès de la détermination a été très poussée chez les embryons de Batraciens. Au stade de la neurula, nous pouvons reconnaître sur un tel germe les régions représentant l'ébauche du nez, des yeux, des oreilles, des branchies, de la bouche, du rein, du cœur, des membres. Sur une carte nous pourrions tracer les limites approximatives de ce qu'on appelle les « champs morphogénétiques ».

Leur étude a révélé des faits intéressants. Par exemple, le champ correspondant au cœur est déterminé en ce sens qu'il édifiera un cœur et rien d'autre. Si nous pratiquons une large ablation de ce secteur, l'embryon sera dépourvu de cœur et, naturellement, ne survivra pas très longtemps. Mais, à l'intérieur même du champ, les facultés de régulation ne sont pas épuisées. Si nous partageons longitudinalement l'ébauche en deux, en greffant un lambeau d'ectoderme qui constituera une barrière mécanique, chaque moitié de l'ébauche évoluera pour son propre compte et deux cœurs disposés parallèlement, et capables de battre, se construiront. Plus tard, une régulation de cette nature sera impossible. C'est parce que certains champs conservent toute la vie leur capacité de régulation que la régénération est possible. On peut ainsi couper, chez un Triton adulte, une patte au ras du corps, à plusieurs reprises. Après chaque opération, la patte repoussera intégralement. Chez les Vertébrés supérieurs, et en particulier chez l'homme, les facultés de régénération sont épuisées très tôt ; la régénération se limite à une cicatrisation.

### L'induction : clef de voûte du développement embryonnaire

Le degré de détermination s'établit donc progressivement dans un champ morphogénétique. De plus, les différents champs ne s'émancipent pas tous simultanément. Pour certains, la détermination est précoce ; pour d'autres, elle est plus tardive. On peut donc concevoir qu'à la suite des grands mouvements cellulaires au cours de la gastrulation, un feuillet ou une nappe cellulaire d'un feuillet déjà déterminé, et dont la destinée d'en-



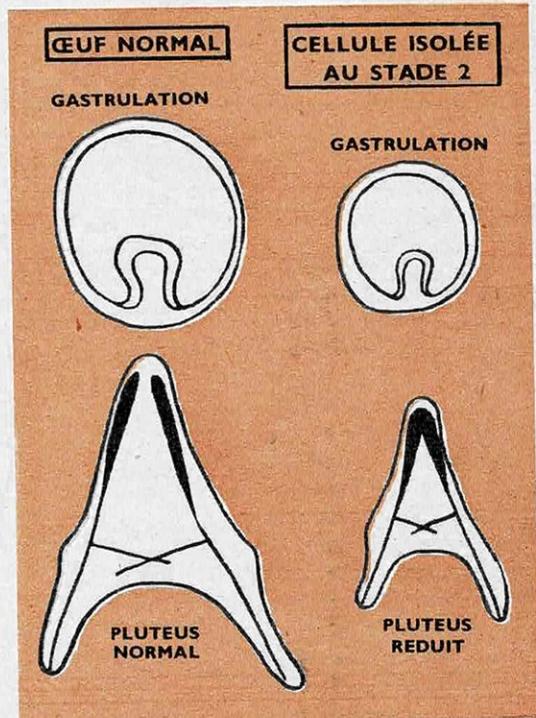
**L'embryon de poulet** est couché ventralement sur le jaune de l'œuf qui constitue la réserve de matières nutritives qu'il résorbe peu à peu.

semble est irrévocablement fixée, se trouve amené au contact d'une autre nappe cellulaire dont la détermination n'est pas acquise. Dans ces conditions, celle-ci pourra réagir aux stimulations émanant du groupe cellulaire déjà déterminé et se trouver orientée dans la voie d'une différenciation particulière. C'est ce qui se produit effectivement. Ce phénomène a reçu le nom d'*induction*. Nous concevons, par exemple, qu'une partie de l'ectoderme dorsal d'une blastula d'Amphibien puisse être amenée, au cours de la gastrulation, juste au-dessus et au contact du feuillet du mésoderme. L'expérience a montré qu'à ce stade celui-ci est déterminé dans son ensemble, cependant que l'ectoderme ne l'est pas encore. C'est après avoir subi le contact du mésoderme que l'ectoderme édifiera le système nerveux. Cette découverte a été une des plus sensationnelles de l'embryologie expérimentale. Elle est due à Spemann (1918-1924), dont voici l'expérience fondamentale.

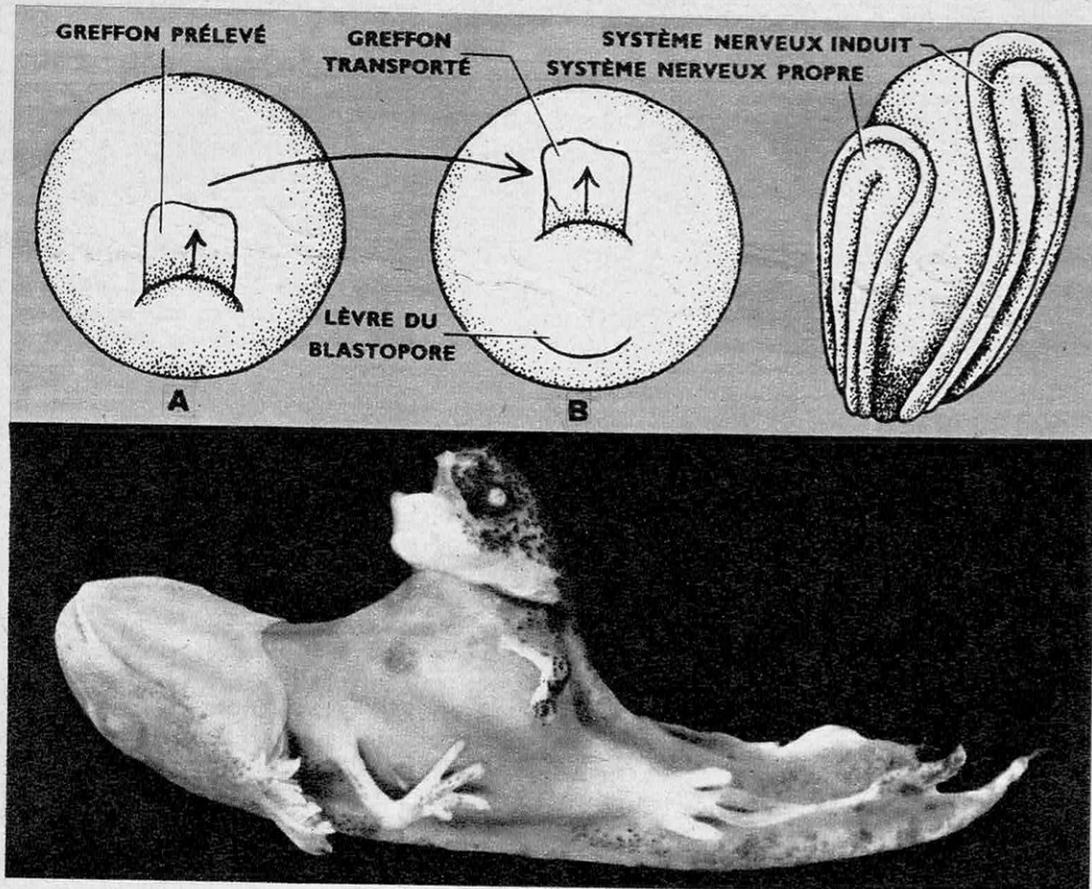
Prenons deux gastrulas de Triton A et B au moment où s'ébauche la lèvre du blastopore, et supposons que la gastrula A ait été colorée par du bleu de Nil. On prélève un fragment de la lèvre de A, c'est-à-dire du mésoderme, et plus précisément une portion de la corde et des muscles dorsaux présomptifs. Ce greffon bleu est implanté dans la gastrula B, en position ventrale, juste à l'opposé de la lèvre dorsale de B. Que se passe-t-il ? L'embryon B évolue normalement. Il édifie ses organes axiaux propres, c'est-à-dire une notochorde flanquée de ses muscles avec, au-

dessus, un système nerveux : moelle épinière et cerveau. Mais, en même temps, à l'emplacement du greffon A, des phénomènes singuliers se produisent. Le greffon s'enfonce sous une lèvre blastoporale secondaire et s'étale sous l'ectoderme ventral. Puis, au-dessus du greffon, on voit s'édifier un second système nerveux avec cerveau et moelle épinière. Tout le système nerveux de l'embryon secondaire : cerveau, nez, yeux, oreilles, moelle épinière, provient de l'ectoderme de l'embryon B, de cet ectoderme qui, normalement, aurait fourni la couche épidermique banale de la peau du ventre.

Pour comprendre la portée de ce résultat, extrapolons quelque peu. L'épiderme de la peau est une couche cellulaire peu différenciée : c'est elle qui s'exfolie périodiquement pour se reformer par sa base et qui, chez l'homme, formera le cal de la main, par exemple. Par contre, le système nerveux, et spécialement le cerveau, sera le siège de la vie psychique, sans doute très simple chez le Triton, mais qui, chez l'homme, aboutit au déroulement des facultés intellectuelles supérieures : mémoire, intelligence. C'est le cerveau d'Einstein qui a forgé la Relativité, c'est celui de Beethoven qui élabora ses symphonies. On voit



**L'expérience de Driesch** sur l'œuf d'oursin. A gauche, évolution de l'œuf normal : en haut, la gastrulation; en bas, le pluteus. A droite, évolution d'une cellule isolée au premier stade de division : on obtient une gastrula et un pluteus plus petits mais harmonieusement constitués.



**Phénomène d'induction** provoqué par la greffe, sur une jeune gastrula de Triton, de la lèvres dorsale du blastopore prélevée sur une autre gastrula au même stade de développement (croquis du haut). La greffe, mise en place à l'opposé de

la lèvres du blastopore de l'individu greffé, donne naissance à un second système nerveux complet. Sur la photo du bas on aperçoit l'embryon induit, avec tête, patte antérieure et queue, qui se développe sur le ventre de l'embryon normal.

ainsi le prodigieux degré de promotion subi par les modestes cellules de l'ectoderme !

Spemann démontra donc par son expérience qu'un « stimulus » émanant du mésoderme, prélevé au niveau du blastopore dorsal, pouvait imposer une différenciation spéciale et définitive des cellules banales de l'ectoderme. Mais il y a plus. Les tissus induits ne constituent pas un mélange anarchique. Ils se disposent de manière à construire un embryon qui, dans les meilleurs cas, est parfaitement organisé dans ses structures essentielles. La lèvres dorsale a donc un pouvoir inducteur et *organisateur*. Il est difficile de n'être pas profondément impressionné quand on voit, dans une modeste coupelle remplie d'eau, se construire, en deux à trois jours, l'embryon double de Triton.

On a démontré que le phénomène a une grande généralité chez tous les Vertébrés et que le stimulus en cause n'a pas de spécificité zoologique. Ainsi, l'induction a été obtenue chez le Triton avec un inducteur de poulet et l'embryologiste anglais Waddington a induit la formation d'un embryon secondaire de lapin

en utilisant un inducteur de poulet, de même qu'un embryon secondaire de poulet avec un organisateur de lapin. Ce processus d'induction, qui est aussi connu chez les Invertébrés, a une portée très générale ; c'est vraiment la clé de voûte du développement embryonnaire.

Lorsque l'embryon d'Amphibien a atteint le stade neurula et que les grands territoires représentant les ébauches de ses futurs organes sont en place, c'est encore une suite de phénomènes d'induction qui réalisera, par une sorte de processus en chaîne, l'édification de ses organes. Le fait a été démontré pour le nez, l'œil, l'oreille, les branchies, les membres, les reins, les glandes génitales, etc. L'exemple le plus classique et le plus saisissant est celui de l'œil que montre la figure ci-contre.

### La croissance

A partir du moment où l'œuf fécondé commence à se diviser pour édifier un embryon, et jusqu'à la mort de l'organisme, chaque individu a une courbe particulière de croissance. Pendant la vie embryonnaire et le jeune âge, les processus constructifs sont particu-

lièrement intenses, l'animal accroît rapidement sa masse. Chez l'adulte, les phénomènes d'édification sont ralentis et se bornent à la réparation des tissus usés. Le poids reste sensiblement constant. Avec la sénescence, les phénomènes de désassimilation l'emportent sur l'élaboration. Sur ce schéma général se greffent des cas particuliers et des modalités diverses.

Chez les Vertébrés supérieurs, et notamment chez l'homme, il existe une première période de croissance embryonnaire intense. Entre 13 et 19 ans, à la puberté, une nouvelle poussée atteint son maximum vers la seizième année. Elle cessera complètement vers 25 à 27 ans.

Les courbes de croissance varient selon les espèces. Le Pigeon est, de tous les animaux domestiques, celui dont la croissance est la plus rapide. Il double son poids à la naissance en 48 heures et, en 20 jours, son poids passe de 25 à 435 g. Chez les Mammifères, l'homme se caractérise par un taux de croissance particulièrement lent. Pour doubler le poids à la naissance, il faut 6 jours au Lapin, 14 au Porc, 47 au Veau, 180 à l'Homme.

Chez les Invertébrés, la croissance présente certains aspects particuliers. Chez les Arthropodes comme les Crustacés et les larves d'Insectes, elle est marquée par des mues qui sont la conséquence d'un squelette externe articulé dont les éléments rigides emprisonnent l'individu. Le développement se traduit alors par un graphique en « marches d'escalier » où alternent des phases de croissance active et des phases de faible accroissement.

L'étude de la croissance globale donne d'ailleurs une idée incomplète du caractère de la croissance, car celle-ci ne se réduit pas au simple agrandissement des dimensions initiales de l'individu. Du nouveau-né à l'homme adulte, la hauteur de la tête est multipliée par deux, celle du tronc par trois, et la longueur

du membre supérieur par quatre. Le cerveau représente à la naissance 12 % du poids total et 2 % seulement chez l'adulte. En revanche, les organes sexuels ont un développement tardif, de même que certains caractères sexuels secondaires.

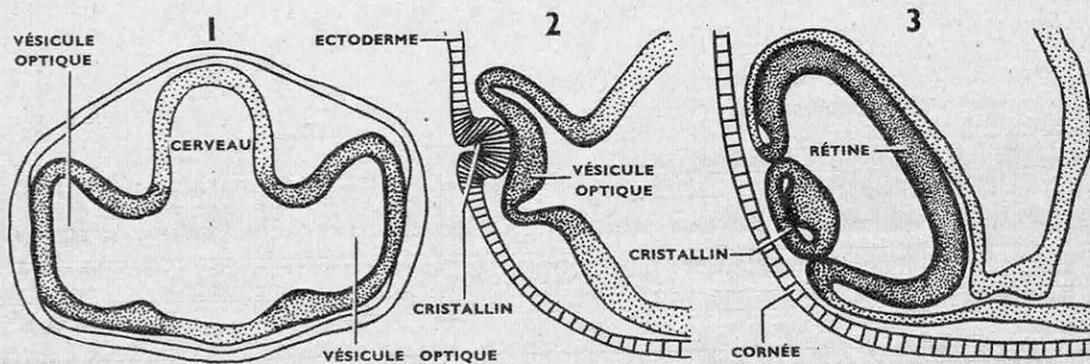
L'accroissement de la masse de l'organisme est d'autre part conditionné par de nombreux facteurs externes (alimentation, lumière, température, état hygrométrique, etc.) et internes (hormones).

## La sénescence

Après avoir atteint son maximum en taille et poids, l'organisme entame les dernières étapes de sa vie. Le poids, après être demeuré longtemps stationnaire, décroît lentement.

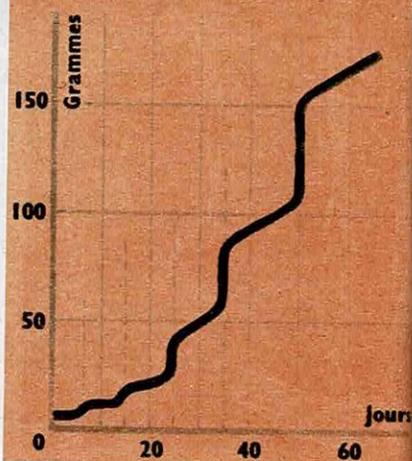
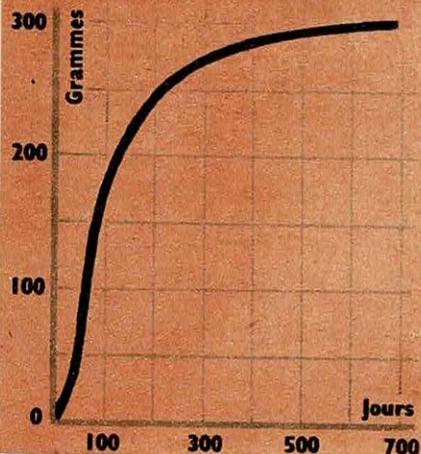
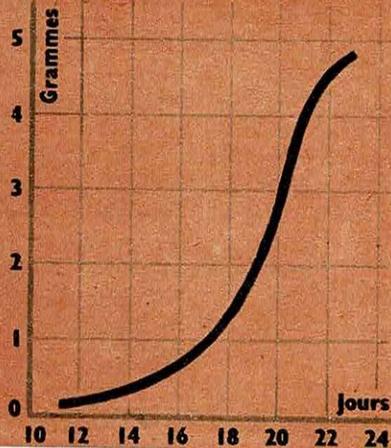
La sénescence s'installe progressivement selon des mécanismes complexes et encore mal connus. Les différents organes sont atteints inégalement : l'activité des glandes génitales est assez rapidement touchée alors que le système nerveux et, notamment, les aptitudes intellectuelles demeurent longtemps remarquablement actifs.

D'une façon générale, la sénescence est marquée par un affaiblissement du système glandulaire endocrinien. Ses manifestations portant sur les résorptions osseuses, les modifications de l'épiderme, ont une origine complexe. En fait, s'il a été relativement facile de prolonger la durée de la vie humaine par l'hygiène et la lutte contre les maladies infectieuses, les résultats obtenus quant à la prévention des marques de sénilité restent beaucoup plus modestes. Au total, on vit plus longtemps, mais on ne demeure pas tellement plus longtemps jeune, et le rêve du Dr Faust, jeunesse et amour, reste l'un des buts de la gérontologie.



**Édification de l'œil** par induction. En (1) les vésicules optiques apparaissent latéralement au niveau du cerveau moyen. Chacune se creuse en forme de coupe; la lame interne donnera la rétine, et le pédicule de la coupe, le nerf optique. En (2), la vésicule arrivant à l'ectoderme de la

tête, celui-ci s'épaissit pour former une lentille. En (3), la lentille s'isole et donne le cristallin. Enfin, au lieu de se pigmenter et de former des glandes comme partout ailleurs, l'ectoderme qui est situé au niveau du cristallin devient transparent et donne la lame mince de la cornée.



**Les courbes de croissance** diffèrent suivant les espèces, mais leur générale est un S : le poids est porté en ordonnées et le nombre de jours en abscisses. *A gauche*, la courbe de croissance embryonnaire du rat montre que c'est au début de la gestation que la croissance est la plus active mais la faible valeur absolue du poids donne au départ, une pente faible à la cour-

be. Elle se redresse d'ailleurs très vite pour s'affaiblir à la fin de la gestation. *Au centre*, la courbe de croissance du rat blanc atteint un plateau après le 200<sup>e</sup> jour correspondant à l'état adulte. *A droite*, l'allure générale de la courbe de croissance d'un insecte Hémiptère ; par suite de l'existence d'un squelette externe, les périodes de croissance correspondent à chacune de ses mues.

On doit d'ailleurs remarquer que le problème de la sénescence est essentiellement humain. Il ne se pose guère dans la nature où la compétition pour la vie élimine l'immense majorité des organismes bien avant le terme possible de leur durée. L'essentiel, pour l'espèce, est de parvenir au stade où l'individu peut se reproduire ; au-delà, on ne peut parler que de sursis, biologiquement sans intérêt. C'est parce que nous jugeons le monde vivant comme un monde d'adultes que nous attachons à l'adulte une telle importance.

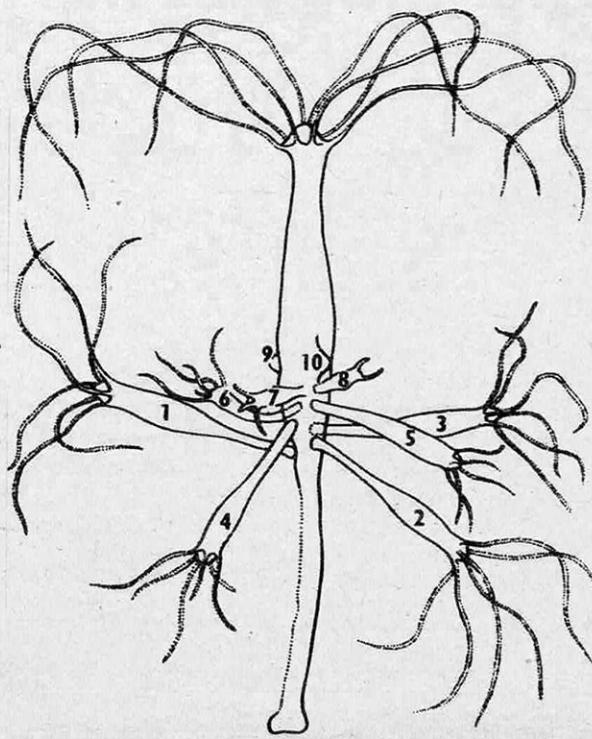
En fait, le monde vivant est un univers où embryons, larves et fœtus tiennent une place immense. Une récolte de plancton marin révèle toujours un nombre considérable de plutei, de nauplii, de zoé, de planulas, de larves annéliennes, de véligères, d'alevins, engagés de toute la vitesse de leur morphogénèse dans la réalisation de l'Oursin, du Copépode, du Crabe, de la Méduse, du Ver, du Mollusque, du Poisson. Pour une Grenouille ou un Triton, que de milliers de gastrulas, de neurulas et de têtards auront tenté la grande aventure ? La vie de l'insecte ailé chez l'Ephémère, le Hanneton, la Cigale, la Mouche, le Papillon, est la phase ultime et rapide d'un

cycle où larves, vers blancs, asticots et chenilles ont tenu la plus grande place. La vie de l'Anguille est centrée sur la migration qui la conduira aux Bermudes, celle du Saumon n'aboutit qu'à la remontée des rivières, et il n'est guère de femelle de Mammifère sauvage qui n'héberge quelque fœtus. C'est sans doute cette vision d'un monde vivant se créant sans cesse qui, pour le biologiste, reste l'un des plus étonnants spectacles.

### La mort est-elle inexorable ?

Au terme de la croissance, après la phase de la reproduction sexuée et l'état adulte, plus ou moins prolongée par une sénescence pro-

**L'hydre d'eau douce** présente la curieuse propriété de pouvoir se reproduire indéfiniment par bourgeonnement. On voit ci-contre des hydres-filles à différents degrés de développement, depuis celle qui est prête à se détacher pour mener une vie indépendante (1) jusqu'à la faible boursoufflure qui apparaît au bas de la colonne gastrique (10). Chacune des hydres-filles, après s'être détachée, pourra bourgeonner à son tour. (Dessin d'après Brien et Reniers Decoen).



gressive, tout l'édifice admirablement intégré du Métazoaire se désintègre et meurt. Mais cette mort est-elle réellement un phénomène inexorable ?

On a pu montrer que, chez les êtres unicellulaires, les Protistes, la lignée cellulaire est immortelle. Chez le cilié *Paramecium* chaque cellule se coupe en deux, puis, à nouveau, chacune des moitiés se coupe à nouveau en deux. Les bipartitions peuvent se poursuivre sans signe d'affaiblissement.

Chez les Métazoaires, tout ne meurt pas avec l'individu. Chaque enfant qui naît assure la survie d'une cellule de la mère et du père. Si le reste de l'organisme disparaît, chaque gamète sauvé par la fécondation assure la pérennité.

Les cellules germinales sont donc potentiellement immortelles, mais celles dites « somatiques », qui participent à l'édification des divers organes et dont l'ensemble constitue le « soma » par opposition au « germen », peuvent également vivre indéfiniment. Des cellules variées (muscles, thyroïde, épithéliums) provenant de tissus somatiques d'un animal, maintenus en milieu approprié, continuent à se diviser d'une manière illimitée. Pendant un quart de siècle, des cultures musculaires provenant d'un fragment de cœur d'embryon de Poulet se sont poursuivies sans atténuation de vigueur. Or la durée de la vie d'un Poulet ne dépasse pas dix ans. Ainsi les cellules somatiques, en dehors de l'organisme, retrouvent l'immortalité des Protistes.

On peut donc penser que, si les diverses lignées cellulaires sont mortelles, c'est parce qu'elles sont intégrées à l'organisme même. La mort n'est pas fatale, elle n'est pas inhérente à la vie. La mort d'un Métazoaire doit être considérée comme un accident, résultant des lentes altérations de son milieu interne.

### La pérennité du vivant

Dans les exemples précédents, la pérennité du vivant est démontrée à l'échelle cellulaire. Mais il y a plus. Il est des Métazoaires qui sont potentiellement immortels. Nous prendrons comme exemple le cas de l'Hydre d'eau douce, remarquablement étudié au cours des récentes années par P. Brien. L'animal a l'aspect d'une petite colonne, longue d'un centimètre environ, dont la base est fixée sur une feuille ou un caillou. Dans cette colonne, on peut distinguer deux régions : le pédoncule et la colonne gastrique qui lui fait suite. A la partie supérieure s'ouvre la bouche, entourée de 6 à 8 tentacules mobiles.

L'hydre peut se reproduire par voie sexuée et, en ce sens, elle se comporte comme un Métazoaire ordinaire. Mais, et c'est là le point

qui nous intéresse ici, l'Hydre bourgeonne de nouvelles hydres.

Les bourgeons se présentent d'abord comme une boursoffure au bas de la colonne gastrique. La hernie se soulève et son sommet correspond à la bouche future, autour de laquelle les digitations des tentacules de la petite Hydre-fille apparaissent bientôt. Lorsqu'une Hydre-fille a atteint un degré suffisant, elle se détache, mène une vie indépendante, et bourgeonnera à son tour.

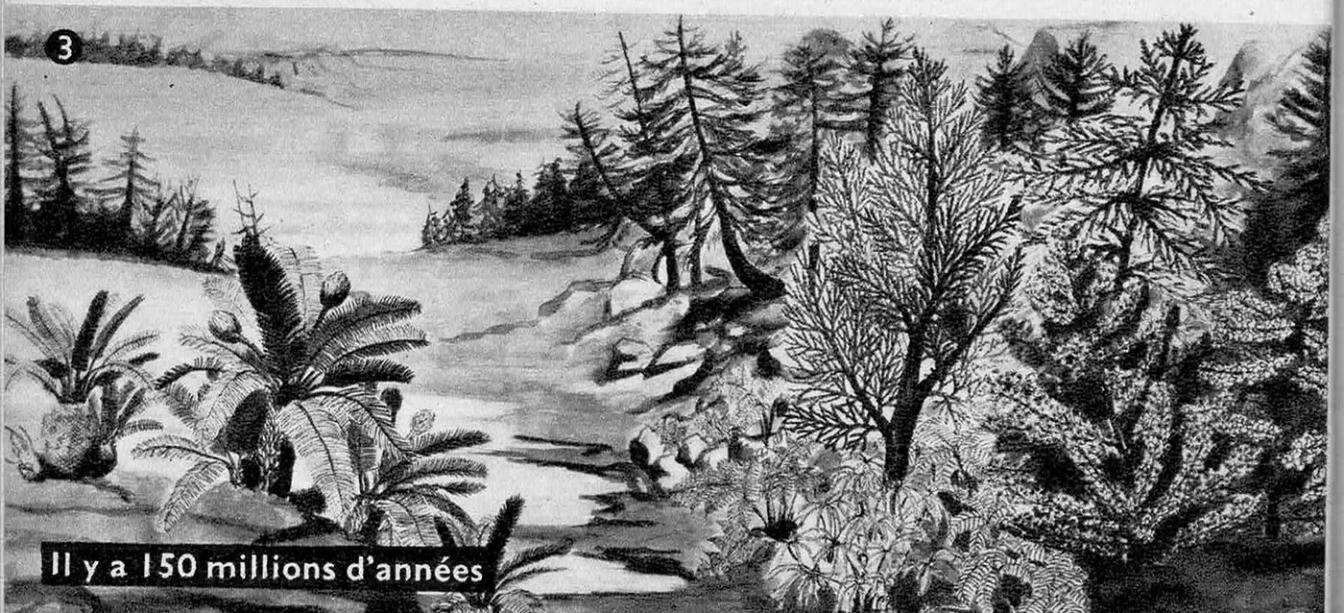
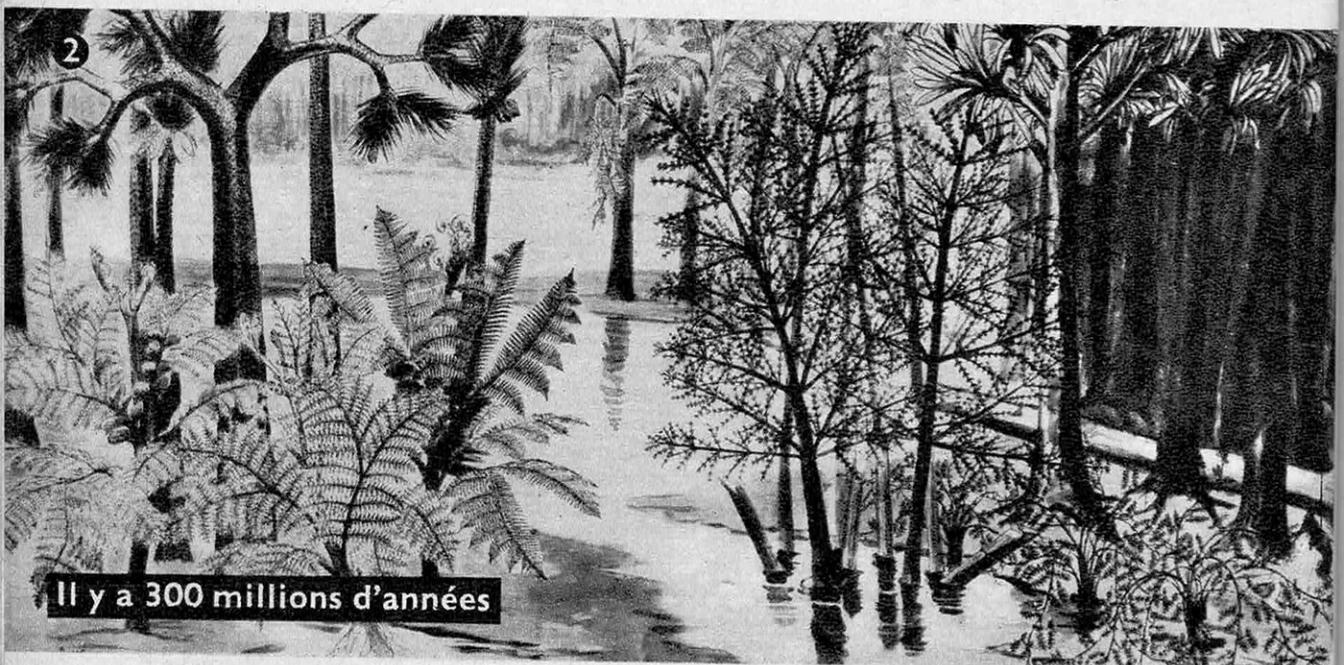
Un point particulièrement intéressant est que l'on peut empêcher indéfiniment l'apparition de la reproduction sexuée et maintenir un bourgeonnement continu. P. Brien élève une Hydre dans ces conditions et isole les bourgeons à mesure qu'ils se détachent. Ces bourgeons, placés en culture, sont à leur tour la souche de lignées de bourgeons, qui eux-mêmes sont cultivés isolément. On a pu ainsi maintenir des individus isolés bourgeonnant sans cesse, et une Hydre qui, entre 1949 et 1952, a émis 702 bourgeons reste aussi jeune, aussi proliférante que le plus récent de ses ascendants. Elle est immortelle, et l'expérience est tout à fait comparable à celle réalisée chez les Paramécies.

Dans cet exemple, la masse des substances vivantes « Hydre » élaborée par l'individu primitif est considérable. On peut alors se poser la question suivante : Que représente exactement cet individu qui, sans arrêt et pendant 5 ans, sans aucune signe d'affaiblissement visible, sans épuisement prévisible, continue à disséminer sa propre substance sous forme de bourgeons ? En fait, cet individu souche s'use et disparaît par son pédoncule, mais il se régénère constamment à partir des tissus situés autour de la bouche et des tentacules. Une partie des cellules en croissance participe au renouvellement constant des tentacules qui s'épuisent par leur extrémité. La plus grosse partie de la croissance est absorbée par le bourgeonnement.

Par sa pérennité de propagation, sa pérennité de croissance, l'Hydre est positivement éternelle, pour autant, évidemment, que les conditions favorables restent constantes. Si séduisantes et si rationnelles que soient ces conclusions, il reste que rien dans la nature n'est constant, ni permanent. Les êtres vivants, engagés toujours dans une inexorable compétition pour subsister, évoluent autour d'un équilibre sans cesse remis en cause par les variations mêmes des milieux physiques et biologiques. C'est probablement là la source de tous les renouvellements.

L. GALLIEN,

Professeur d'Embryologie  
à la Faculté des Sciences de Paris



# VÉGÉTAUX ET ANIMAUX

## A LA CONQUÊTE DE LA TERRE

### 1. Paysage végétal dévonien

Sur cette reconstitution de la flore de l'époque primaire, on a représenté, à gauche, une tourbière grossie environ six fois par rapport au reste du paysage. On y trouve les *Rhynia* à tiges lisses, plantes vasculaires les plus primitives, les *Horneophyton* à rhizome tuberculeux, les *Asteroxylon* à feuilles écailleuses. Au pied des arbres, des *Psilophyton princeps*, plantes de marais de 70 cm. Les espèces arborescentes sont : *Protolpidodendron*, de 8 à 12 m, à feuilles courtes, et *Eospermatopteris*, fougère arborescente à graines dont les feuilles géantes ont plusieurs mètres de longueur.

### 2. Paysage végétal du houiller

Dès le Carbonifère qui succédait au Dévonien, les végétaux se sont profondément modifiés. C'est l'époque des forêts luxuriantes d'où est issue la houille, avec leurs marécages aux eaux stagnantes et peu profondes. Au centre, sur les bords d'une lagune, des *Calamites*, sortes de gigantesques prêles de 12 m. A gauche, derrière les fougères, sur la terre plus ferme, des *Lepidodendron*, une des plantes les plus représentatives de l'époque carbonifère, et, derrière, des *Sigillaires* de 30 m. A droite, des *Cordaïtes* de 30 à 40 m, à feuilles en bouquets, longues de près d'un mètre. Au fond, des fougères arborescentes.

### 3. Paysage végétal du jurassique

Le Jurassique, à l'ère secondaire, est l'époque des Gymnospermes correspondant aux Conifères actuels. A gauche, des Cycadophytes, au tronc renflé. A droite, des Coniférales de 10 m de haut, à feuilles écailleuses. A l'extrême-droite, des *Ginkgoïtes* à feuilles en éventail. Les Fougères, qui ont connu leur apogée au Primaire, sont déjà au stade décadent. Au fond, forêts de Conifères. Ces trois reconstitutions ont été réalisées par l'éminent paléobotaniste Paul Bertrand, professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, et aimablement communiquées par Madame Paul Bertrand.

**D**EPUIS l'apparition de la Vie sur la Terre, il y a sans doute près de deux milliards d'années, les êtres vivants, végétaux et animaux, se sont multipliés et diversifiés. Ils ont plus ou moins rapidement envahi la planète et peuplé tous les milieux aquatiques, terrestres et aériens. Les places vides se sont raréfiées de plus en plus.

Cet envahissement de ce qu'on appelle la « biosphère » peut être considéré dans le temps et dans l'espace.

Dans le temps, les espèces végétales et animales qui ont vécu aux diverses périodes géologiques nous sont précisées par la paléontologie. Les grandes plantes à chlorophylles existent dès l'ère primaire ; au Silurien et au Dévonien, la flore est déjà variée. Au Carbonifère, elle était d'une richesse et d'une exubérance extraordinaires ; c'est à cette époque que les Fougères à graines, premières Gymnospermes, atteignent leur apogée ; elles constituent de vastes forêts soumises à un climat humide et chaud. Là vivaient des Fougères arborescentes, rappelant celles des forêts vierges, des Lycopodiales (*Lepidodendron*, *Sigillaria*), des Equisétales (*Calamites*, *Equisetum*).

Au début de l'ère secondaire, les espèces antérieurement florissantes deviennent plus rares et elles commencent à disparaître. Le Jurassique devient l'ère des Gymnospermes (Pin, Sapin, Conifères divers) qui se multiplient. Puis apparaissent les Angiospermes, la classe la plus évoluée de tout le règne végétal, plantes à fleurs et à fruits, qui ne cesseront plus de se diversifier et d'étendre leur domaine. Parmi les espèces présentes vers la fin du Crétacé et au début de Tertiaire, beaucoup sont encore actuellement vivantes.

Cette succession des flores révèle l'histoire des climats qui ont régné sur la terre. Il semble que ces climats devaient présenter autrefois une beaucoup plus grande uniformité qu'aux époques récentes. Pendant très long-



American Museum of Natural History.

**Le Rhinocéros tichorhinus**, contemporain des premiers hommes et du Mammouth, avait le corps revêtu d'une abondante toison laineuse. Des dessins rupestres du Sud-Ouest de l'Europe et les restes fossiles de l'ozocrite de Galicie et des glaces de Sibérie permettent de le reconstituer avec exactitude. Il vivait dans les forêts et les

steppes du quaternaire supérieur à faune froide. Ce Rhinocéros est le dernier représentant de l'espèce en Europe et l'aboutissement de l'évolution du rameau européen. Les Rhinocéros sont aujourd'hui réduits à 5 espèces, à une ou deux cornes, et on ne les rencontre plus que dans des régions restreintes de l'Afrique et de l'Asie.

temps, le climat a dû demeurer chaud et humide et les forêts luxuriantes du Carbonifère devaient correspondre aux épaisses forêts qui couvrent notre région équatoriale.

Pour des époques plus récentes, l'étude des grains de pollen rencontrés dans les différents niveaux des tourbières a permis de préciser le type de forêt qui existait autour des tourbières, et d'en déduire les climats successifs de la région considérée. Les spécialistes de cette nouvelle science, la palynologie, ont ainsi mis en évidence, dans nos régions, la succession des forêts où dominaient le Bouleau et le Pin, le Chêne et le Noisetier, le Hêtre, et qui correspondaient respectivement à une période froide, puis à un réchauffement amorçant une période chaude et sèche marquée par l'apogée du Chêne, suivie enfin d'une période plus froide et plus humide où le Hêtre dominait. Voici, pour prendre un exemple précis, les résultats

obtenus par Mme C. Dubois pour l'analyse pollinique de la tourbière de la Taphanel à Riom-ès-Montagne, dans le Cantal :

— 700 à 600 cm de profondeur : phase du Pin avec Bouleau, Chêne et Saule, période subarctique ; de l'an —10 000 à —9 000 ;

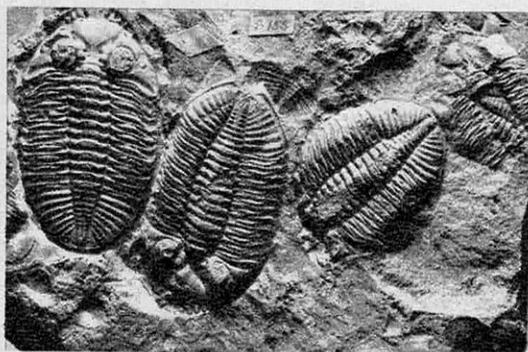
— 600 à 550 cm de profondeur : phase du Bouleau avec Pin, période préboréale ; de l'an —9 000 à —7 500 ;

— 550 à 500 cm : phase la plus poussée du Coudrier, période boréale ; de l'an —7 500 à —5 000 ;

— 500 à 150 cm : phase de la Chênaie mixte (Chêne, Tilleul, Orme) avec Coudrier, période atlantique ; de l'an —5 000 à —3 000 ;

— 150 à 100 cm : phase du Hêtre-Sapin, période subboréale ; de l'an —3 000 à —1 000 ;

— 100 à 50 cm : phase du Sapin-Hêtre,

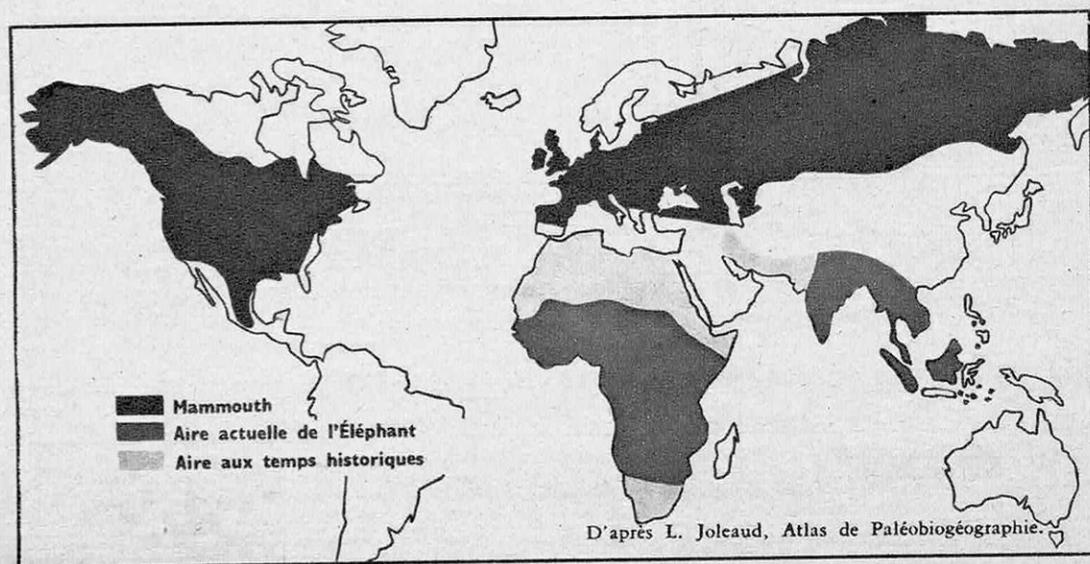


**Les Trilobites** forment un vaste groupe d'Arthropodes éteints, d'une très grande variété de taille (2,5 à 60 cm) et de forme, qui ont eu une très grande importance parmi les faunes marines primaires. On en a dénombré 450 genres et 3 970 espèces. Ces animaux primitifs à carapace se trouvent dans les couches géologiques les plus anciennes : ils ont atteint leur apogée au cours du Cambrien, il y a 500 millions d'années, et se sont éteints probablement au Permien. On a pu appeler le Primaire « ère des Trilobites ». Leur nom vient de ce que leur corps est divisé en trois parties par des sillons, tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal.



**Le groupe des Eléphants** a atteint son maximum d'expansion dans les toundras des périodes glaciaires arctiques, au Pléistocène moyen, de la Sibérie à l'Europe et en Amérique du Nord, avec le Mammouth. Le groupe n'est plus représenté aujourd'hui que par deux genres : l'Eléphant de l'Inde qui, aux temps historiques,

était répandu jusqu'en Mésopotamie, et vit aujourd'hui en Inde, Indochine et Indomalaisie; l'Eléphant d'Afrique qui, à l'ère quaternaire, habitait toute l'Afrique et est localisé aujourd'hui du Sud du Sahara au Nord du Cap. Les nombreuses formes d'Eléphants d'Afrique sont réparties dans des bassins hydrographiques différents.



période subatlantique; de l'an  $-1000$  à  $+500$ ;

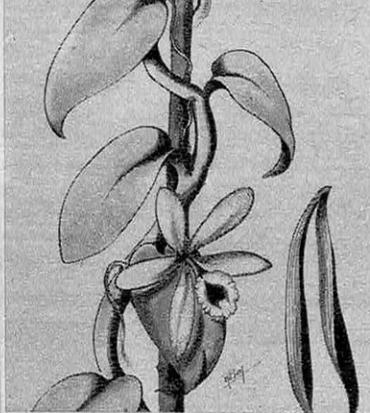
— 50 à 0 cm : phase de la forêt diversifiée : Chêne, Pin, Hêtre, Aulne, Sapin, Bouleau, Coudrier, période actuelle; de l'an  $+500$  à nos jours.

Cette histoire forestière se retrouve avec des faibles variantes dans toutes les analyses polliniques de tourbières effectuées dans les différents pays d'Europe.

La faune fournit aussi des renseignements précieux. On sait que les Trilobites caractérisent le Primaire : les Ammonites, les Bilem-

nites, les grands Reptiles marquent la Secondaire; les Mammifères s'épanouissent au Tertiaire et le genre Homo apparaît au Quaternaire. Aux époques les plus reculées, les espèces marines prédominent nettement et fournissent des indications précieuses sur les conditions qui régnaient dans les mers anciennes. Plus tard, les extensions et régressions de la faune terrestre, jointes à celles de la flore, témoignent des changements climatiques sur les continents.

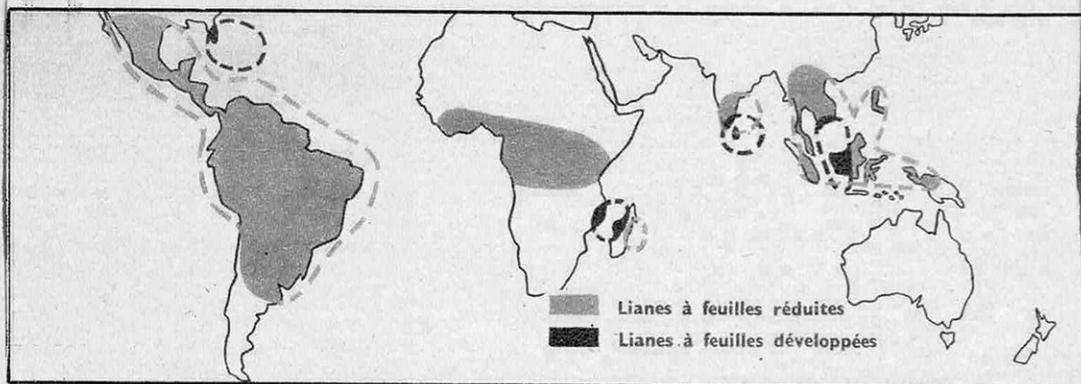
Connaissant les flores et les faunes contemporaines, le paléontologiste a tenté de replacer



D'après G. Bouriquet.

## La distribution des Vanilliers

Ce sont des Orchidées-lianes poussant à l'état spontané en Amérique tropicale, à fruits allongés et parfumés. Ils comprennent deux grands ensembles : lianes à feuilles développées, lianes à feuilles réduites à des sortes d'écaillés. La plante a été introduite en Afrique au début du siècle dernier, mais la pollinisation du Vanillier exige l'intervention d'insectes ou d'oiseaux-mouches qui manquaient dans son nouvel habitat. Vers 1841, un jeune Réunionnais, Edmond Albius, imagina le procédé qui consiste, pour chaque fleur, à faire tomber le pollen sur le stigmate en écartant la barrière mécanique naturelle qui s'y oppose.



plantes et animaux dans leur cadre naturel, dans leur « biotope » particulier ; des paysages anciens ont été ainsi reconstitués ; ceux réalisés par Paul Bertrand pour les Végétaux sont particulièrement suggestifs.

Cette évolution végétale et animale au cours des âges met en évidence non seulement l'ancienneté des espèces et leurs relations dans les différents phylums ou clades, mais aussi les modifications qui sont intervenues dans les répartitions géographiques. Elles sont commandées par les variations climatiques pour une

part, et d'autre part par la configuration des mers et des continents et par les communications qui ont pu s'établir entre les continents à certaines époques. Les distributions géographiques actuelles résultent du jeu combiné de ces différents facteurs. En effet, les relations qui ont autrefois existé entre les terres émergées ont pu permettre à certains groupes de s'étendre plus ou moins largement à partir de leur berceau d'apparition : des phénomènes tectoniques tels que l'érection de barrières montagneuses, l'effondrement de ponts inter-

## Groseillier et Euphrasia

Ces plantes fournissent des exemples de très large diffusion. Les groseilliers (à droite, genre *Ribes*), dont il existe plusieurs espèces ornementales et fruitières, occupent une vaste zone de l'hémisphère boréal et une bande longeant la côte Pacifique de l'Amérique du Sud. L'aire de distribution de l'Euphrasia (à gauche), plante voisine des Muffiers, coïncide à peu près avec celle des Groseilliers dans l'ancien monde. Dans l'hémisphère sud, elle se trouve sensiblement dans les mêmes régions d'Amérique, ainsi qu'en Australie et Nouvelle-Zélande.



Dessin M. Bory.



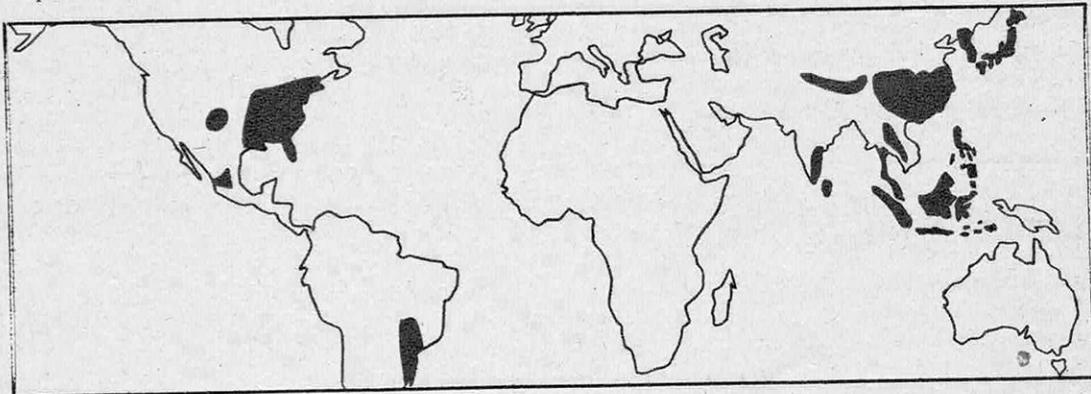
Cl. Jean Vincent.



## La distribution des Magnoliacées

C'est un exemple de distribution très disséminée. Les Magnoliacées se trouvent en Afrique du Nord, Amérique Centrale, Amérique du Sud et en Indomalaisie. Cette répartition, leur structure anatomique et florale, témoignent en faveur de leur très grande antiquité. Elles représentent probablement l'élément le plus ancien des plantes dicotylédones actuelles. Elles comprennent les Magnolias, arbres d'ornement aux fleurs blanches ou roses, originaires d'Asie et d'Amérique, le Tulipier de Virginie qui peut atteindre 40 m de haut et le Badianier du Tonkin (anis étoilé), arbrisseau devenu commun en Extrême-Orient.

D'après Hutchinson.



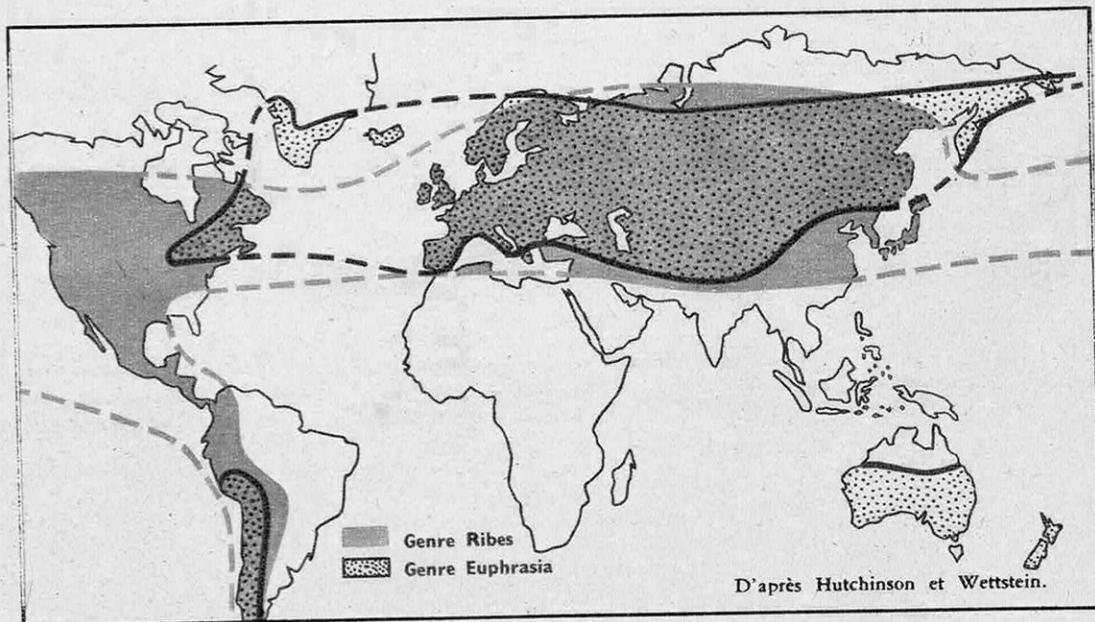
continentaux ou l'extension de grands glaciers, ont pu isoler certains peuplements et les soustraire définitivement, ou pour un temps plus ou moins long, à l'action de nouveaux arrivants ou à toute concurrence vitale. Mais il ne faut pas oublier que, pour qu'une espèce ait pu passer d'un continent à un autre, il n'a pas suffi qu'ils fussent au moins temporairement, mis en communication ; il a fallu aussi que l'espèce trouve, tout au long de son parcours, des milieux qui lui conviennent.

Dans l'espace, le peuplement actuel de la

Terre appelle de nombreuses remarques. Les aires d'extension des espèces, leurs formes, leurs limites, sont extrêmement variables et posent des problèmes souvent difficiles à résoudre.

Les espèces cosmopolites, « ubiquistes », c'est-à-dire répandues sur tout le globe, sous toutes les latitudes et sous tous les climats, sont loin d'être les plus fréquentes. Les zones de peuplement, le plus souvent, ne sont pas continues, et cette discontinuité s'explique par les conditions de milieu, de climat, par le jeu

(suite page 62)



D'après Hutchinson et Wettstein.

# Les proches parents de l'Homme, les " Primates "

**L**es Primates constituent un ordre très vaste groupant les Lémuriens, les Tarsiers, les Simiens et les Hominiens, ces derniers réduits actuellement à une espèce unique, l'Homme, et parmi lesquels les paléontologistes rangent ses précurseurs fossiles. L'Homme est, de tous les Primates, le seul qui soit répandu sur toute la surface de la Terre. Les autres sont essentiellement arboricoles ; ils fréquentent plus rarement les régions de savane et certains même des stations dénudées. On les trouve

en Europe sur le rocher de Gibraltar ; en Asie, où ils habitent l'Arabie méridionale, l'Inde, l'Indochine, la Chine et le Japon, mais pas au-delà de 40° de latitude nord ; en Afrique, sur tout le continent, sauf les déserts ; en Amérique, dans toute la zone comprise entre les tropiques du Cancer et du Capricorne ; en Océanie, en Malaisie. A l'ère primaire, les Primates occupaient toute l'Amérique du Nord et l'Europe. A droite, carte de répartition des Primates (sauf les Tarsiers) dans le monde.

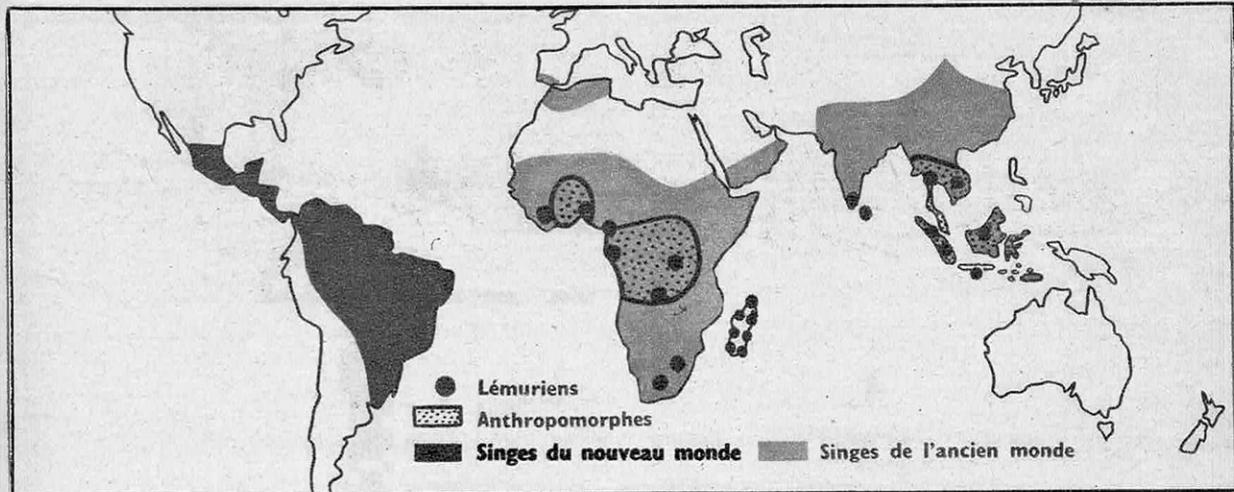
## LES LÉMURIENS

Les Lémuriens se trouvent, en grande majorité (une quarantaine d'espèces), à Madagascar et aux Comores, où ils constituent l'élément essentiel des mammifères forestiers. Une dizaine d'espèces vivent dans une aire plus vaste : forêts de l'Afrique, Malaisie, Indochine, Ceylan, sud-est de l'Inde. Ils ont tous une queue bien développée et un museau rappelant le renard.

**Les Galagos** ou « Bush-babies » ont la taille d'un chat, avec une longue queue, de très grands yeux et de larges oreilles nues. Ils progressent sur le sol par bonds, grâce à leurs longues pattes de

derrière, mais nichent dans les arbres. Ce sont des animaux nocturnes qui s'approprient facilement. Ils habitent les forêts de l'Afrique, une partie du Sahara et se nourrissent de fruits et d'insectes.





Atlas-Photo.



**Le Nycticebus ou Loris lent** a la taille d'un écureuil, pas de queue, un index très court, un pouce très divergent. Ses mouvements sont lents, ce qui s'explique pour un animal arboricole nocturne. Il se nourrit de feuilles, de fruits et de petits animaux. Il habite le Sud-Est de l'Asie.

Atlas-Photo.



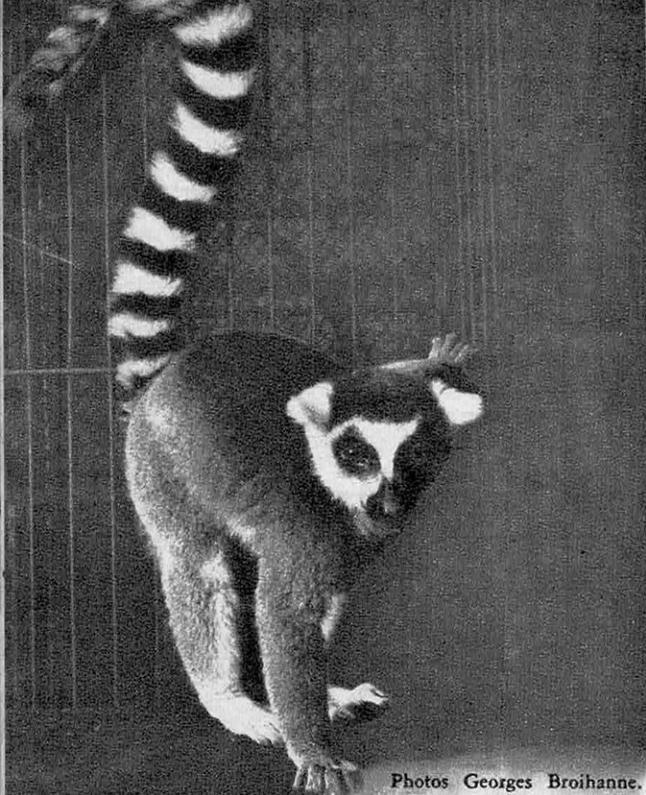
**Le Aye-Aye** est une sorte de gros écureuil exclusivement nocturne, que l'on trouve dans les forêts de l'Est et du Nord-Ouest de Madagascar. Les mains antérieures ont le troisième doigt très long, comme desséché. Les incisives sont longues et coupantes comme celles d'un rongeur.

**Le Microcèbe** est un mammifère très petit, comme on peut en juger d'après les grains de raisin du premier plan. Il sommeille pendant les mois les plus chauds, vivant sur les réserves de

graisse accumulées dans sa queue. On le trouve à Madagascar. La face latérale du tronc présente un repli du coude au genou formant une membrane qui évoque celle des mammifères planeurs.



Atlas-Photo.



Photos Georges Broihanne.

**Le Maki Catta** est de taille assez réduite. Ses oreilles sont droites, son pelage gris et sa queue annelée blanche et noire. C'est le moins arboricole de tous les Lémuriens. Il vit dans les broussailles, en bandes d'une quinzaine d'individus. Son activité est surtout diurne.



Atlas-Photo.

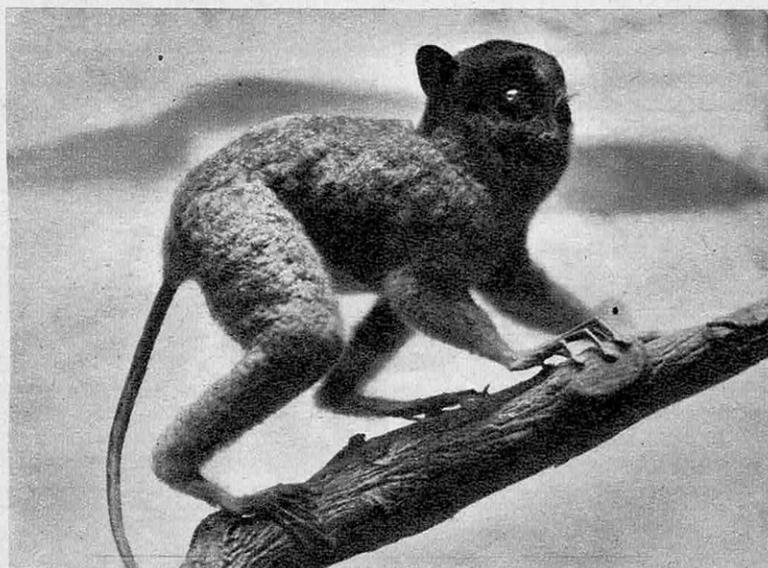
**Le Maki Vari** (Lémur varia) est le plus grand des animaux de ce groupe. Son pelage est variable, allant du gris au roux éclatant, avec de grandes zones blanches. Les petits sont portés par la mère sur le dos, leur queue enroulée à la sienne. Il vit dans les rochers.

## LES TARSIFIERS

Les Tarsifiens n'ont pas été représentés sur la carte pour ne pas la charger inutilement, car ils sont actuellement limités à la Malaisie : îles de la Sonde, Célèbes et Philippines. Exclusivement arboricoles et excellents grimpeurs, ils sont capables de sauter de branche en branche. A cause de certains traits primitifs de leur anatomie, ils ont un grand intérêt scientifique.

### **Le Tarsifier spectre**

a la taille d'un rat et des yeux très développés. Ses doigts, très longs, sont terminés par des sortes de disques formant ventouses. Ses caractères (fosse orbitale close, trou occipital avancé), le font considérer par les anatomistes comme faisant la liaison entre les Lémuriens et les Singes ; certains voient en lui l'être le plus voisin de l'Homme.



Atlas-Photo.

## LES SIMIENS

Les Simiens, qui sont les singes par excellence, se partagent nettement en deux sous-groupes : les singes du Nouveau Monde et les singes de l'Ancien Monde, autrement dit : les Platyrhiniens et les Catarhiniens.

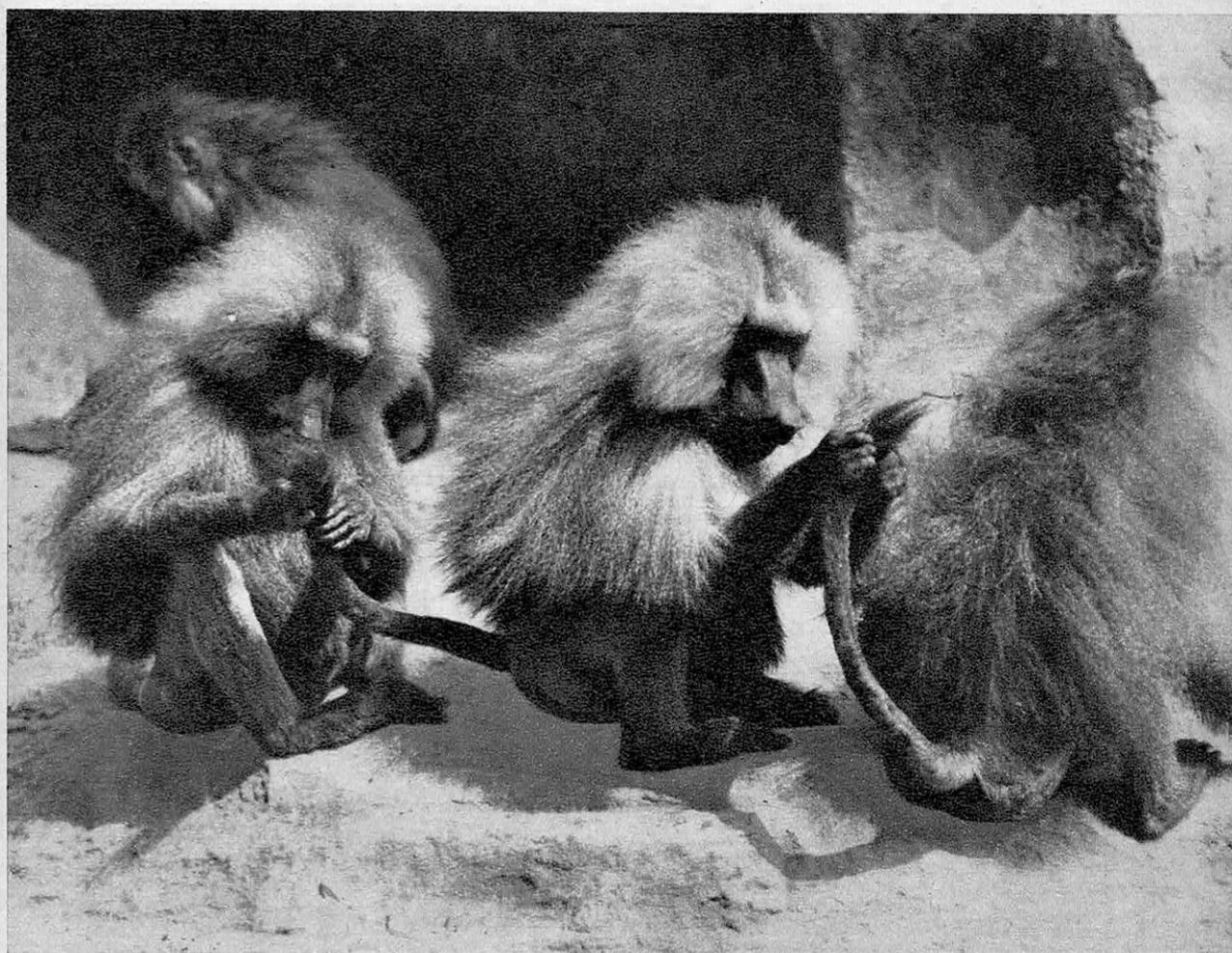
Les premiers, comme le nom l'indique, ont le nez aplati, avec les narines séparées par une large cloison et regardant en dehors. La queue est généralement longue, parfois préhensile. Ils n'ont pas de callosités fessières et leur pelage est très fourni. Les singes du Nouveau Monde fréquentent les grandes forêts tropicales, du Mexique au Sud du Brésil, où les grandes rivières sont pour eux des obstacles infranchissables.

Les Catarhiniens ont le nez plus resserré, avec des narines regardant vers le bas et séparées par une cloison étroite. Leur queue est de dimension variable, souvent réduite ou absente. Ils peuvent s'adapter à une vie entiè-

rement terrestre et certains marchent sur deux pieds. On les range en deux familles : les Cynomorphes (à museau de chien) et les Anthropomorphes (qui se rapprochent le plus de l'homme). Les Cynomorphes (Hamadryas, Mandrill, Nasique) occupent une large zone couvrant la majeure partie des régions éthiopienne et orientale. Ils débordent sur l'Afrique du Nord et Gibraltar, la Chine, le Japon et l'Australie. Ils ne sont pas cantonnés dans les zones forestières et vivent dans des régions rocheuses ou des montagnes dépourvues d'arbres. Les Anthropomorphes (Gibbon, Orang-outan, Chimpanzé, Gorille), dépourvus de queue et ayant des membres antérieurs nettement plus longs que les membres postérieurs, sont limités à deux régions très distantes : la grande forêt équatoriale de Guinée en Afrique, les zones boisées de l'Indochine et des îles de la Sonde en Extrême-Orient.

**L'Hamadryas** (Cynomorphe) se trouve en Afrique, du Sénégal à l'Abyssinie et de l'Égypte au Cap, ainsi qu'au Sud-Ouest de l'Arabie. Il vit

en bandes dans les gorges rocheuses. C'était le singe sacré des Égyptiens, qui l'ont souvent représenté sous l'aspect d'un juge à balances.





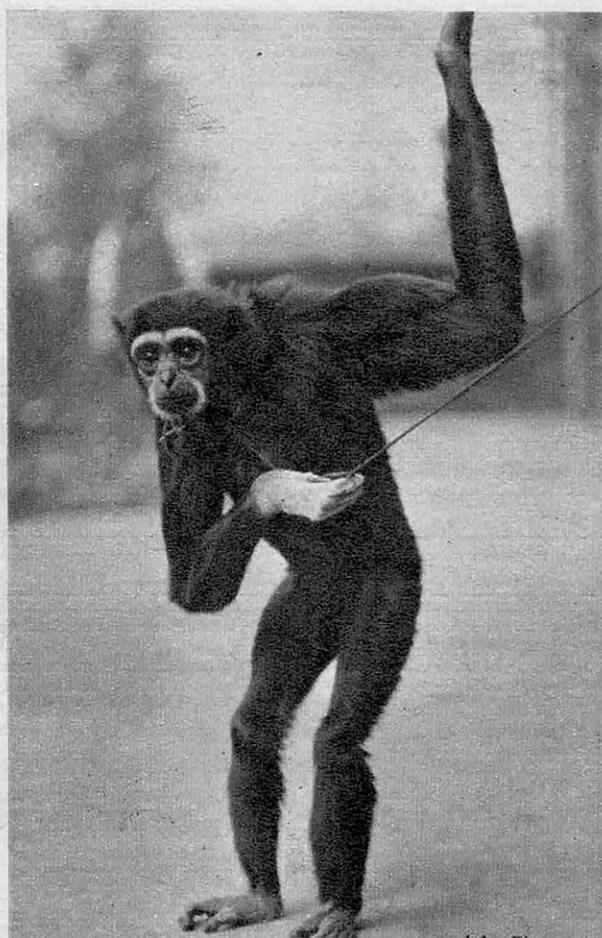
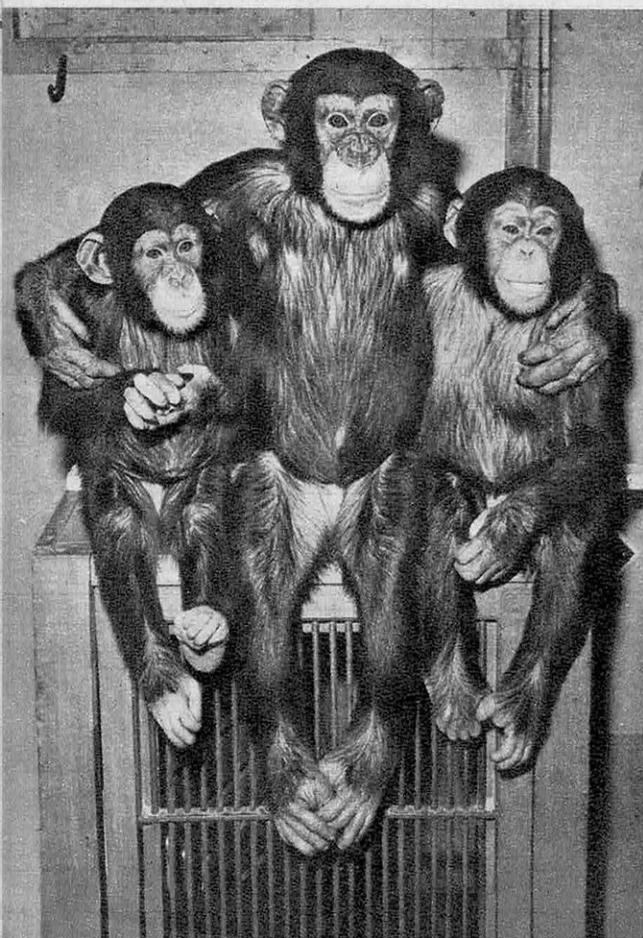
**Le Nasique** (*Nasalis larvatus*) possède un nez qui, chez l'adulte se transforme en un long appendice mobile ; il est particulièrement développé chez le mâle où il peut dépasser 17 cm. Le Nasique vit dans les forêts tropicales de Bornéo, au bord des fleuves, car il est excellent nageur et n'hésite jamais à plonger dans l'eau.

**Le Chimpanzé** (*Anthropomorpe*) est le seul Anthroïde sur lequel on possède des séries d'observations méthodiques faites en liberté et en captivité. Il s'apprivoise facilement, surtout jeune. Il vit dans la forêt équatoriale, de la Gambie aux lacs Albert et Victoria. Il se construit des toits de feuilles et de branches, très haut perchés



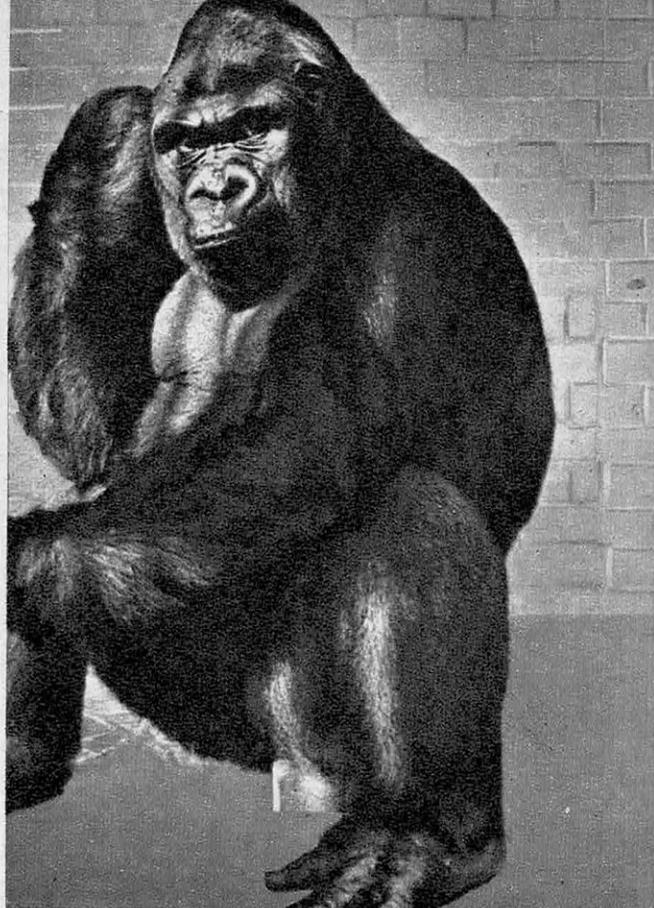
**Le Mandrill** (*Cynomorpe*) habite les forêts d'Afrique occidentale. C'est un singe féroce, hideux et grotesque. Son museau plissé est écarlate avec des raies bleues chez le mâle adulte, noir chez le jeune et la femelle. Ses callosités fessières sont mi-partie bleues et rouges. Même les Léopards évitent les bandes de Mandrills.

**Le Gibbon** (*Anthropomorpe*) est le plus petit singe du groupe. Il vit en troupes nombreuses dans les régions forestières de l'Indochine et des îles de la Sonde. Sa taille ne dépasse pas un mètre et quand il se tient debout, ses bras touchent le sol. Gauche à terre, il fait, dans les arbres, des sauts de 10 à 12 mètres.





**L'Orang-outan** (Anthropomorphe) est un gros animal de Bornéo et Sumatra, lourd et à dos voûté. Sa face est nue, ses oreilles sont petites et il n'a pas de queue. Il se meut avec lenteur dans les arbres des forêts denses, où il se construit un nid de rondins recouverts de feuilles. Il semble qu'il en change chaque nuit. Il se nourrit exclusivement de fruits et de feuilles.



**Le Gorille** (Anthropomorphe) est beaucoup plus grand et plus fort que le Chimpanzé. Le mâle peut atteindre 2 mètres et peser 250 kg. Il peut vivre cinquante ans. On le trouve dans la grande forêt de Guinée et du Congo. Il a un cri bref et puissant et se bat volontiers la poitrine de ses poings. Végétarien, il marche à la recherche de la nourriture, se déplaçant en petite troupe.

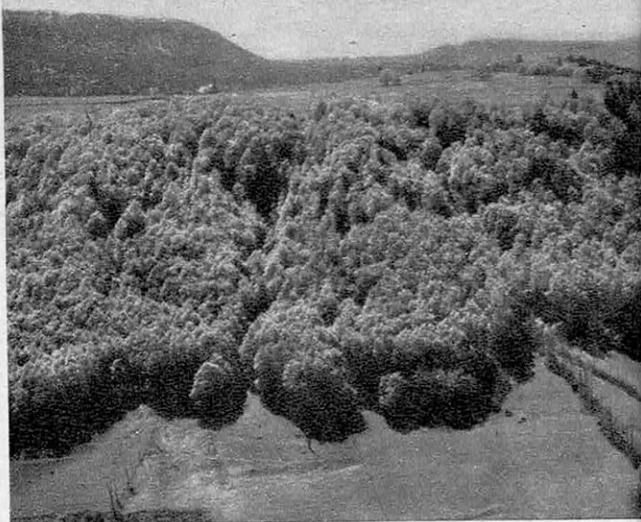
**Œdipomidas œdipus** (Nouveau-Monde) est un singe brun avec les membres et le dessous du corps blancs, queue noire et rouille, et crinière abondante et claire. On le trouve en Colombie. Il se nourrit de fruits, de bourgeons, d'œufs d'oiseaux, d'insectes et de petits reptiles.

**L'Atèle** (Nouveau-Monde) est aussi appelé Singe-Araignée à cause de ses membres longs et grêles. C'est un acrobate émérite et, dans sa locomotion à travers la forêt tropicale, la queue préhensile joue un rôle essentiel. Il s'en sert même pour porter la nourriture à sa bouche.



## Répartition de la flore entre les deux versants d'une vallée

Cette photographie panoramique de la vallée de la Dordogne entre le Mont Dore et La Bourboule met en évidence la dissymétrie de la répartition. Sur le versant droit (« endroit », dans les Alpes : « adret »), exposé au sud, on trouve jusque vers 1 200 m des habitations et des cultures; plus haut, des taillis de hêtres. Sur le versant gauche (« envers », dans les Alpes : « ubac »), hêtre et sapin commencent dès le bas; vers 1 200 m se trouve un plateau cultivé et au-dessus une futaie de sapin. Ce contraste entre les deux versants est dû à la fois aux différences d'humidité, de température et d'insolation. Il est souvent accentué par l'homme qui déboise le versant bien exposé (endroit) pour ses cultures. (Photo Ph. Guinier.)



(Suite de la page 55.)

des migrations naturelles, par le transport passif des semences végétales par les vents, par les courants marins ou fluviaux, par les animaux, en particulier les Oiseaux, par l'introduction volontaire d'espèces animales et surtout végétales par l'homme.

Certaines espèces présentent des aires de répartition très restreintes, localisées à des régions définies; ces espèces sont « endémiques ». L'endémisme s'observe principalement dans des zones isolées et d'accès difficile: les îles, les massifs montagneux, les cavernes et les grottes souterraines. D'une manière générale, on peut dire que, dans tous ces milieux étroitement spécialisés, se trouvent des endémiques, et, parmi eux, beaucoup semblent être les survivants de groupes autrefois florissants, actuellement en voie d'extinction.

Les exemples de distribution discontinue sont abondants dans le règne animal: les Éléphants ne se trouvent qu'aux Indes et en Afrique (p. 53), les Tapirs qu'en Malaisie et en Amérique du Sud, les Pangolins en Afrique et en Asie (p. 73), les Ratites, oiseaux coureurs, en Afrique, Amérique du Sud et Australie (p. 77), les Poissons dipneustes également en Afrique, Amérique du Sud et Australie (p. 21), les Limules dans le Pacifique et l'Atlantique (p. 23), les Péripatés dans des stations éparpillées dans l'hémisphère austral (p. 23), et combien d'autres.

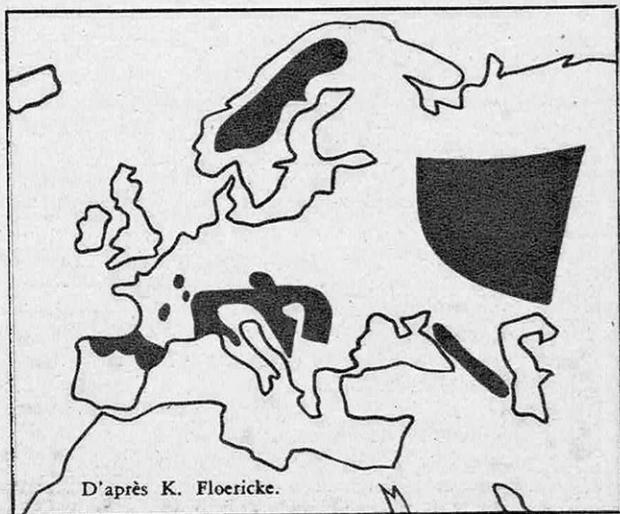
Un grand nombre d'Insectes, de Papillons, présentent une aire de distribution qui coïncide avec celle de la plante dont ils se nourrissent eux-mêmes et dont leurs larves ne peuvent se passer pour leur alimentation. Il en est de même des parasites qui sont étroitement liés à leur hôte.

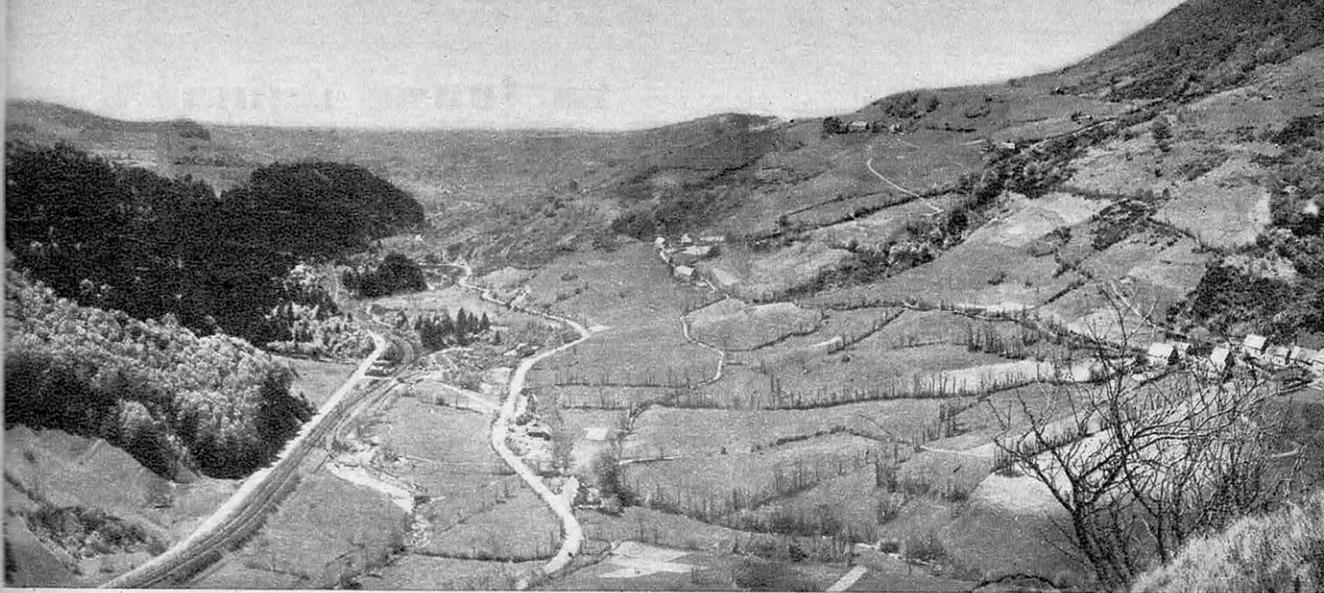
Certaines distributions posent des énigmes.

Le genre *Euphrasia*, ainsi que le montre la carte page 55 est largement distribué dans l'hémisphère austral, il se trouve seulement en Australie, Nouvelle-Zélande, Cordillère des Andes et Amérique australe; il est totalement absent en Afrique. Le genre *Euphrasia* aurait-il pris naissance à la fois vers le pôle Nord ou vers le pôle Sud, ou bien les espèces australes américaines ne proviendraient-elles pas d'espèces nord-américaines ayant émigré vers le Sud? Cette hypothèse n'explique pas le peuplement de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

Actuellement, on peut diviser le monde en sept régions ou « provinces zoologiques et botaniques » caractérisées par l'absence ou la présence de certains groupes:

1° la région holarctique: Europe et Nord de l'Afrique, Asie moins la région indo-ma-





laise, Amérique du Nord jusqu'à la hauteur de Mexico ;

2° *la région néotropicale* : Amérique du Sud, Mexique, Antilles ;

3° *la région éthiopienne* : Afrique moins la bordure nord et sud de l'Arabie ;

4° *la région malgache* : Madagascar et les îles environnantes ;

5° *la région indo-malaise* : Sud de l'Asie et îles malaises ;

6° *la région australienne* : Australie, Tasmanie, Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Zélande, îles polynésiennes ;

7° *la région antarctique* : Continent antarctique et îles avoisinantes.

La région australienne est particulièrement intéressante. A l'ère secondaire, les ancêtres des Monotrèmes et des Marsupiaux occupaient une grande partie de la Terre ; on en a trouvé

de nombreux fossiles en Europe, en Amérique du Nord et jusqu'en Patagonie ; ils avaient dû atteindre l'Australie par la voie asiatique. Or le continent australien fut séparé du reste du monde avant l'avènement des Mammifères placentaires, groupe qui devait s'épanouir sur toute la surface du globe. L'Australie garda donc une faune de l'ère secondaire. Les Marsupiaux, ne trouvant pas de concurrence, se multiplièrent et présentèrent des adaptations variées, parallèles à celles notées chez les Mammifères placentaires, alors que les Marsupiaux d'Eurasie s'éteignaient pendant le Miocène et qu'en Amérique subsistaient des reliques (Sarigues). Les quelques Mammifères placentaires (Rongeurs) d'Australie sont des émigrants accidentels, le plus souvent introduits par l'homme. En Australie, des Marsupiaux herbivores (Kangourous) remplacent les Rumi-

## Le Parnassius apollo

Le papillon Parnassius apollo montre un exemple de distribution très localisée, déterminée à la fois par la température, l'altitude et les besoins alimentaires de sa chenille. C'est une belle espèce aux ailes arrondies, de couleur crème parsemée de taches noires et rouges. Elle appartient à un genre en grande partie confiné dans les régions montagneuses, entre 1 000 et 1 200 m d'altitude où poussent les Sedum et autres Crassulacées dont se nourrit la chenille. C'est ainsi qu'on le trouve dans certaines zones restreintes du Massif Central, en France, dans le Massif Pyrénéen, celui des Alpes françaises, italiennes et autrichiennes, dans le Caucase, l'Oural et la Péninsule Scandinave. A droite, une femelle du papillon Parnassius apollo et à gauche, ses aires de répartition.

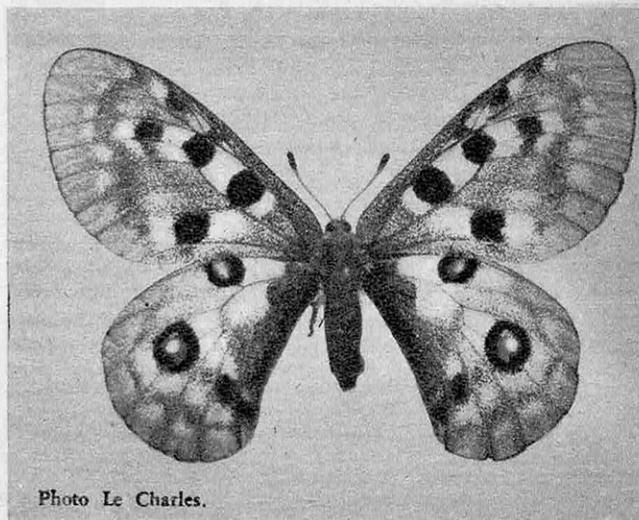


Photo Le Charles.

nants dans la steppe herbeuse ; ils ont atteint au quaternaire la taille du cheval et même d'un petit éléphant (*Diprotodon*, dont le crâne mesurait 1 m de long) ; d'autres Marsupiaux ont donné des Rongeurs à aspect de Marmotte (*Phascalomys*), une Taupe aveugle et fouis-seuse (*Notoryctes*), un Fourmilier (*Myrmecobius*), un Loup (*Thylacinus*), un petit Ours (*Koala*), une Marte (*Dasyurus*), une Belette (*Phascogale*). On connaît encore un Marsupial à parachute, un Marsupial frugivore à queue prenante, des sortes de Rats, d'Écureuils, de Muscardins. Le développement de cette faune équilibrée dans une région donnée constitue un phénomène auquel on a donné le nom de « radiation adaptative ».

La faune de l'Australie a subi de grandes modifications ; dès le quaternaire, les Marsupiaux herbivores géants ont disparu, peut-être à la suite d'une période de grande sécheresse ; puis des Rats asiatiques et le Chien Dingo détruisirent les Marsupiaux carnivores ; enfin l'homme, en exploitant l'Australie, refoula les Marsupiaux dans les zones les moins viables ; il en tua beaucoup pour leur fourrure et en outre il introduisit des concurrents fort redoutables : Lapin, Renard, Chien.

La faune actuelle est caractérisée par des Monotrèmes, des Marsupiaux arboricoles et des savanes, des Ratites, des Oiseaux forestiers spéciaux, des Serpents très dangereux, des Batraciens, des Poissons (le Dipneuste *Neoceratodus* qui est fossile dans le Jurassique d'Europe).

La Nouvelle-Zélande, voisine de l'Australie, ne possède pas de Mammifères autochtones. Sa faune est caractérisée par le grand nombre d'Oiseaux incapables de voler (*Apteryx*, *Moa*, Perroquet nocturne, *Strigops*, le Rallide *Ocydromus*, un Canard, une Oie). On note l'absence de Serpents, de Tortues, de Crocodiles, il existe peu de Lézards, mais le dernier des Rhynchocéphales, le *Sphenodon*, y est réfugié ; il vit dans le terrier d'un Oiseau de mer. La Nouvelle-Zélande est isolée depuis fort longtemps puisqu'elle n'héberge pas de Marsupiaux ; néanmoins, elle a fait partie autrefois d'un vaste ensemble, car une faune néo-zélandaise se retrouve dans l'Archipel des Chatham, à 740 km à l'est de la Nouvelle-Zélande.

La faune malgache est aussi fort intéressante en raison des affinités qu'elle offre avec celle de l'Amérique du Sud, de la région indomalaise et de l'Afrique ; mais plusieurs groupes largement représentés dans ces régions manquent à Madagascar. La grande île a fait partie autrefois d'un vaste territoire comprenant les Comores, et probablement les Seychelles ; ce territoire aurait été réuni à l'Inde et le tout constituait la Lémurie ; l'isolement de Madagascar date du début de l'Eocène.

(Suite page 68.)

## La faune unique d'un

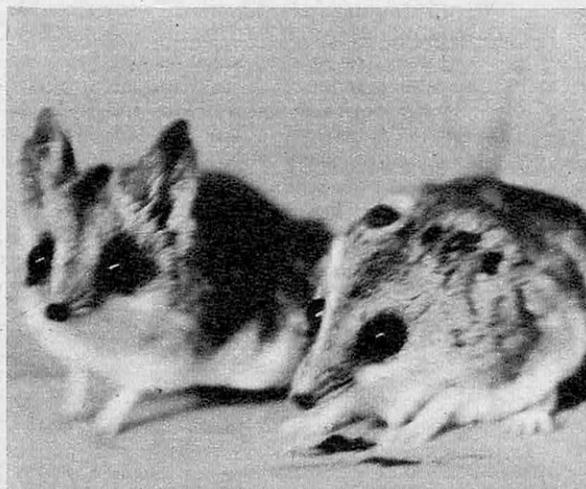
LA faune australienne est particulièrement intéressante à étudier en raison de l'histoire géologique de ce continent. Il fut complètement isolé du reste du monde avant que se développent, au Crétacé, il y a 120 millions d'années, les Mammifères placentaires, de sorte qu'il a conservé les formes archaïques représentées par les Monotrèmes (Ornithorynques,



**L'Ornithorynque** (Monotrème) habite un terrier creusé dans les berges des rivières et des lacs. C'est un nageur habile, qui se nourrit d'insectes, crustacés, etc. Il a la taille d'un lapin. Ses membres sont déjetés sur les côtés et une membrane palmaire unit les doigts. Son rostre corné est aplati en bec de canard.

## MARSUPIAUX

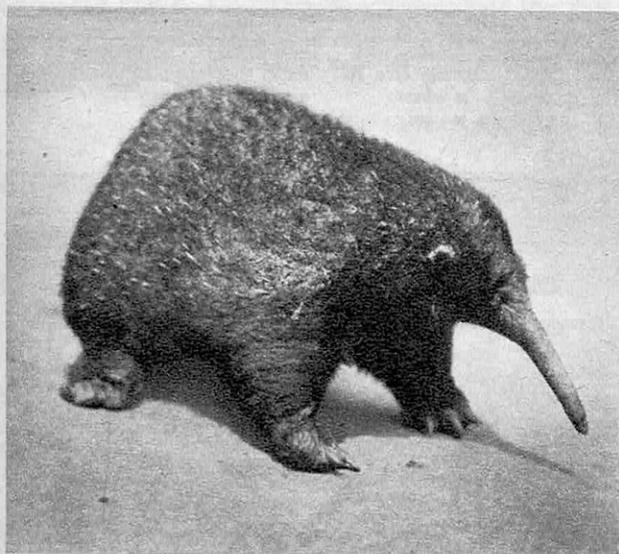
**Le Phascogale** ou « Rat marsupial » a, comme son nom l'indique, la taille et l'aspect d'un petit rat gris-bleu, mais, sous une apparence innocente, c'est un dangereux sanguinaire ravageur de poulaillers, dont la morsure est redoutée.



# continent longtemps isolé : l'Australie

Echidnés) et les Marsupiaux. Les quelques Mammifères placentaires que l'on trouve en Australie sont des immigrants postérieurs à la séparation du continent ou ont été introduits par l'homme. En l'absence de concurrents, les Marsupiaux se sont multipliés et ont présenté des adaptations très variées, parallèles à celles des Mammifères supérieurs : herbivores, car-

nassiers, insectivores, rongeurs, etc., tout en conservant leur principal caractère, la poche ventrale où s'achève le développement du nouveau-né, venu au monde encore incomplètement formé. Les Monotrèmes, bien qu'allaitant leurs petits, non pas avec des mamelles mais par certains pores d'où le lait suinte, pondent des œufs analogues à ceux des Reptiles.



**Le Proechidné** habite exclusivement la Nouvelle-Guinée et l'île de Salawati. Plus haut sur pattes que l'Echidné, il montre une plus grande agilité. Ses poils sont plus abondants et ses piquants moins développés. Il mesure 70 à 80 cm de long. Son bec, deux fois plus long que la tête, est incurvé vers le bas.



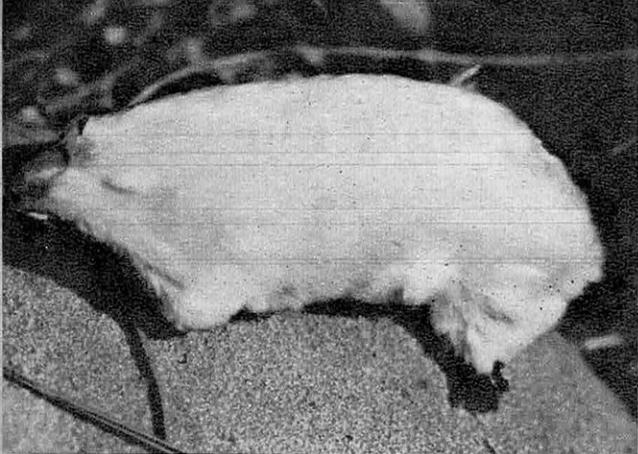
**L'Echidné** a une taille égale ou supérieure à celle de l'Ornithorynque et son corps est couvert de forts piquants, mêlés aux poils. Son bec corné et cylindrique, s'ouvre à son extrémité par une fente étroite. Il se nourrit d'insectes, fourmis et termites, englués par sa langue protractile enduite de salive visqueuse.

**Le Dasyure** ou Chat marsupial, correspond assez bien à la Civette européenne. Il ne peut être apprivoisé et vit surtout d'oiseaux et d'œufs. Il est maintenant relégué en Tasmanie. Son pelage est gris ou noir tacheté de blanc.



**Le Thylacine** ou Loup de Tasmanie ressemble à un chien, mais est très sauvage. Pour protéger les moutons, on lui fait la chasse et il est maintenant confiné en Tasmanie, où n'existe pas encore son ennemi et rival redouté, le Dingo.

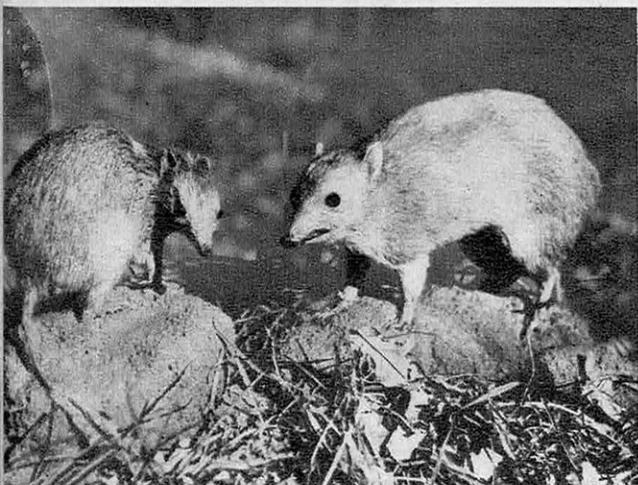




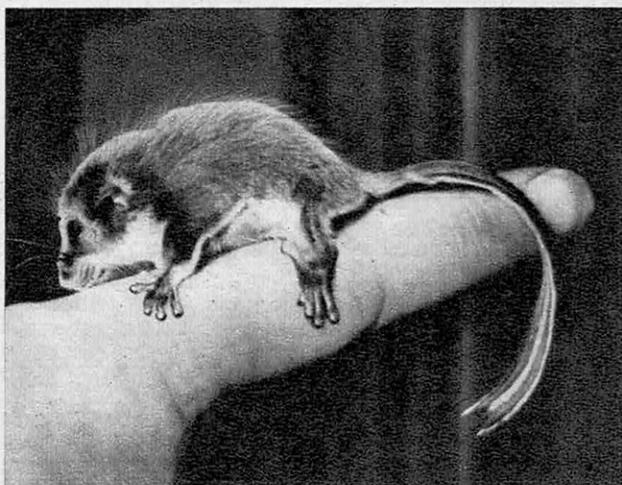
**Le Notoryctes typhlops** ou « Taupe marsupiale » évoque parfaitement, par sa taille, son aspect et ses mœurs, les taupes placentaires de l'hémisphère nord. Mais c'est un marsupial authentique dont la fourrure va du roux doré au blanc.



**Le Sarcophile** ou Diable de Tasmanie ne se trouve que dans cette grande île dépendant de l'Australie. Il a les mœurs nocturnes d'un blaireau et est d'une férocité extrême qui se manifeste même après des années de captivité.



**Le Bandicoot** est un animal nocturne, rappelant le rat par sa taille et qui vit dans des terriers. Il se nourrit d'insectes, mais aussi de racines et peut endommager gravement les plantations de pommes de terre. Ses pattes postérieures ont un peu la structure de celles du Kangourou.



**L'Acrobate pygmée** ou « souris volante » a la taille d'une souris et est pourvu d'une membrane-parachute entre ses membres antérieurs et postérieurs, qui lui permet d'exécuter des vols planés. C'est un animal arboricole qui grimpe grâce au pouce opposable de ses pattes postérieures.

**Le Wombat** est un marsupial fouisseur, au corps lourd, qui se nourrit surtout de racines. Il vit dans les régions montagneuses, creusant des terriers de 8 à 9 mètres de long, grâce aux griffes puissantes dont ses courtes pattes sont armées. Son pelage, long et rude, va du roux au noir.

**Le Rat-Kangourou** joue parmi les marsupiaux le même rôle que nos rongeurs. Il erre la nuit à la recherche d'une nourriture surtout végétale. Il se déplace par une série de sauts rapides. Une des espèces a une queue préhensile, avec laquelle elle transporte des matériaux pour son nid.





**Le Possum** ou Opossum d'Australie, est ainsi appelé en raison de sa ressemblance avec les vrais Opossums américains, mais n'appartient pas à la même famille. Sa teinte va du gris au brun. Il habite à terre dans les crevasses de rochers.



**Le Koala** est le célèbre « ours en peluche » fétiche des Australiens, au corps lourd, au museau épais, dépourvu de queue. Il devient familier, mais comme il se nourrit exclusivement des feuilles de certaines variétés d'eucalyptus, il ne peut être éloigné de son territoire habituel.

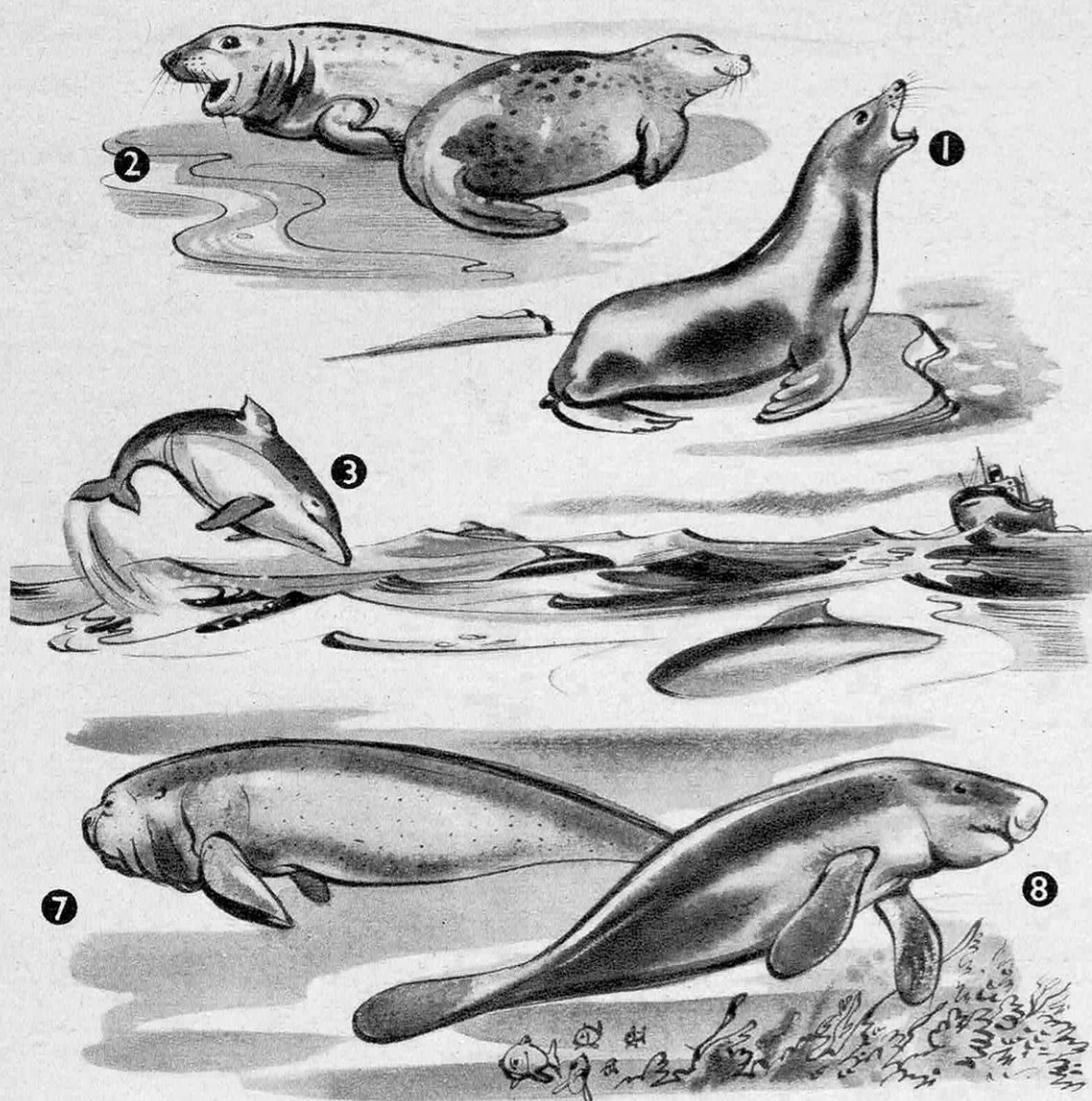
**Le Dendrolague** ou Kangourou arboricole a une taille réduite ne dépassant pas 50 à 70 cm. Sa queue n'est pas préhensile, mais lui sert de balancier et d'appui. Il vit au sommet des arbres inaccessibles, et se nourrit surtout de feuilles.



**Le Couscous** ou Phalanger tacheté a la taille d'un chat domestique. C'est un marsupial nocturne et arboricole, dont les mouvements lents évoquent ceux d'un Paresseux. Il peut se servir de sa queue pour s'agripper. Son odeur est nauséabonde et très tenace. (Molouques et Nouvelle-Guinée.)

**Le Grand Kangourou** habite les collines et les plaines d'Australie. Il est parfaitement adapté au saut, grâce à ses puissants membres postérieurs et à sa longue queue robuste dont il se sert comme support. Il est capable de faire des bonds de 8 m et de se déplacer à plus de 30 km/h.





## Les Mammifères marins

LES Mammifères marins présentent une remarquable adaptation à la vie aquatique : leur corps fuselé est « pisciforme », leurs membres antérieurs forment de puissantes nageoires, ils sont capables de séjourner constamment dans l'eau et d'y nager rapidement. Les uns, Pinnipèdes et Cétacés, sont

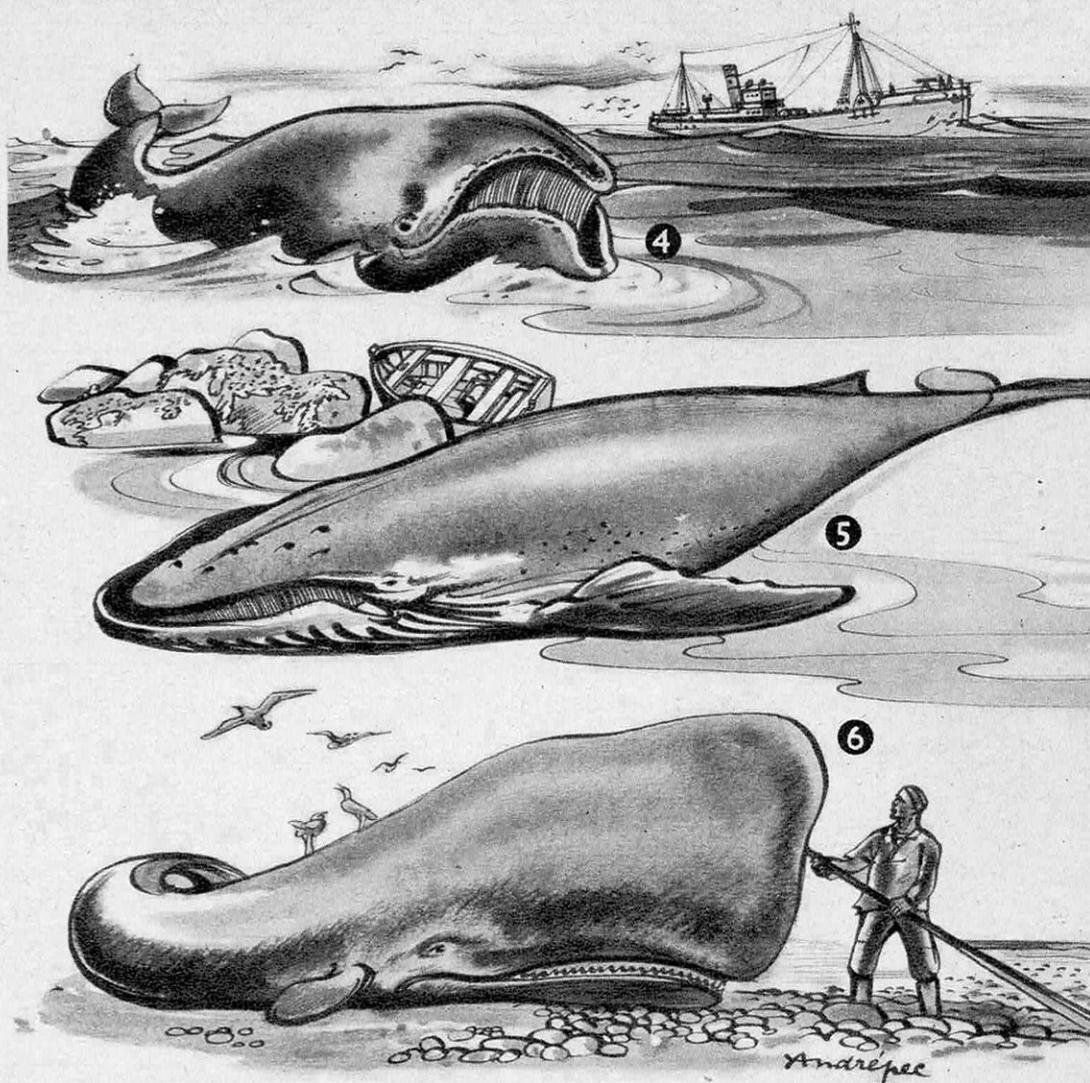
carnivores, les autres, Siréniens, sont herbivores. Les Pinnipèdes comprennent les Otariés, les Morses et les Phoques. Chez les Otariés (1), les pattes postérieures sont encore dirigées vers l'avant, mais chez les Phoques (2) elles sont soudées à la queue pour former une nageoire. Chez les Cétacés, elles ont disparu et une queue musculeuse forme une nageoire étendue dans le plan horizontal.

(suite de la page 64)

Les Mammifères de Madagascar sont peu variés : quelques Insectivores, Rongeurs, Carnivores. Le groupe dominant est constitué par les Lémuriens forestiers et nocturnes qui témoignent d'une différenciation analogue à celle des Marsupiaux australiens, mais moins variée et moins riche. A Madagascar, ne sont jamais arrivés les Marsupiaux, les Ongulés de l'Eocène, les Ruminants, les Rats, les Carnivores, les Singes supérieurs. Les *Aepyornes*,

Oiseaux alliés aux Autruches, récemment éteints, étaient localisés à Madagascar. Des Lézards appartenant à des familles africaines, des Iguanes, des Boas appartenant à des genres de l'Amérique du Sud, vivent à Madagascar. Les Batraciens présentent des affinités avec ceux de la région indo-malaise.

L'examen de la faune actuelle des grandes régions naturelles du globe se complète par l'étude du peuplement d'un milieu donné. Tout être vivant dans des conditions précises



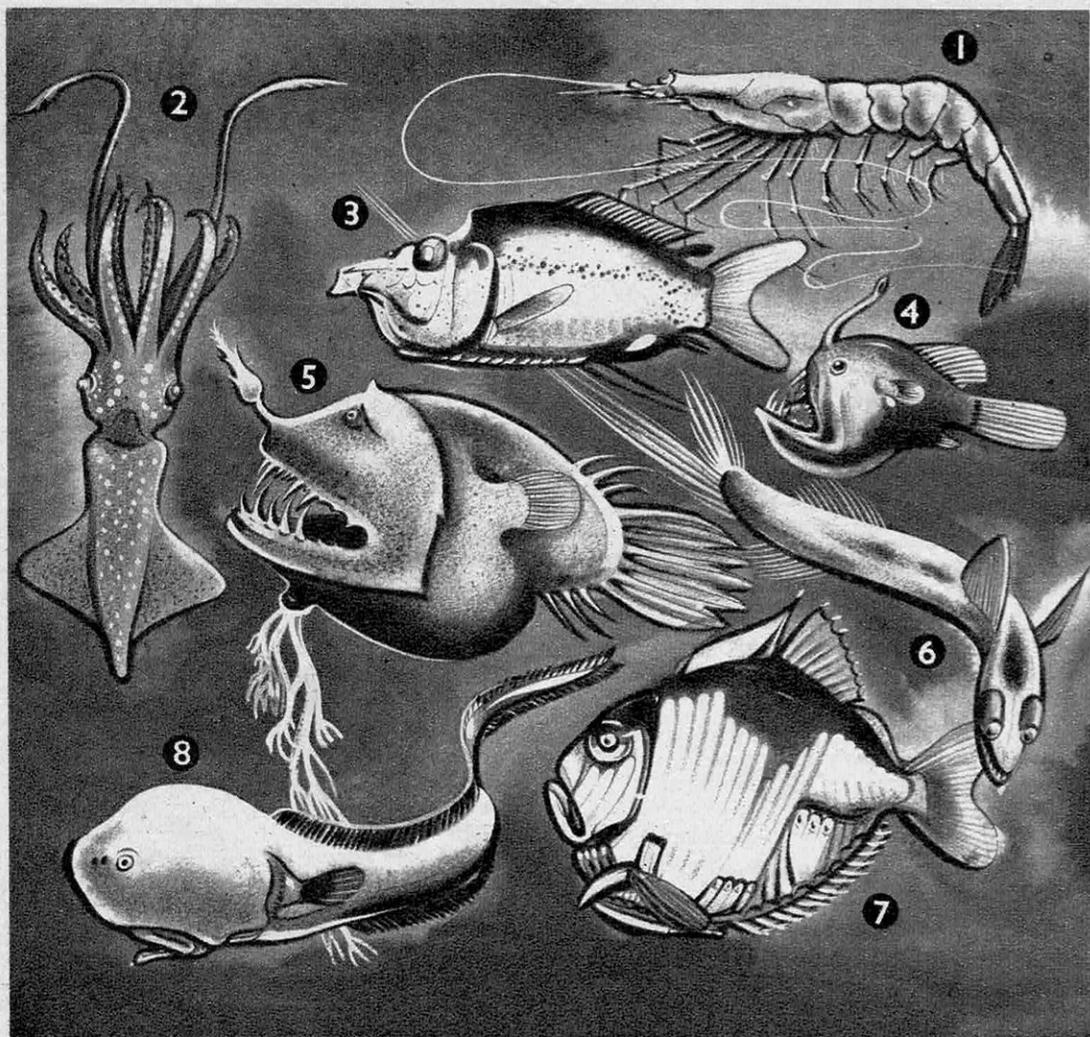
Ils présentent des variations considérables de dimensions, depuis 1,5 m chez les Dauphins jusqu'à 35 m (100 tonnes) chez les Balénoptères. Le Marsouin (3) est commun dans tout l'Atlantique nord. La Baleine bleue (4) est le plus grand mammifère actuel : comme chez le Rorqual commun (5), sa mâchoire supérieure porte des fanons. Le Cachalot macrocéphale (6) possède des dents et sa tête

énorme représente près du tiers du corps. Les Siréniens, exclusivement aquatiques, ne sont actuellement représentés que par les Lamantins (7) d'Afrique et d'Amérique et les Dugongs (8) de l'Océan Indien. Leur comportement est probablement à l'origine de la légende des sirènes. Un autre Sirénien, la Rhytine, découvert en 1742 par Steller dans le détroit de Behring, s'est éteint peu après.

présente une morphologie et une physiologie répondant à ces conditions. Il est adapté aux exigences du milieu. Il est ainsi possible de décrire une faune littorale, pélagique, abyssale, saumâtre, thermale, lacustre, fluviale, torrenticole, forestière, désertique, montagnaise, polaire, insulaire, cavernicole.

Par exemple, la faune abyssale vit dans la mer à partir d'une profondeur de 200 m jusqu'au fond (plus de 9 000 m dans les fosses). Ce milieu présente des conditions particulières :

la pression (qui n'exerce pas d'influence sur les animaux), la lumière fort réduite, la température et la mollesse du fond. Les rayons lumineux pénètrent plus ou moins suivant les mers; leur pénétration diminue de l'Equateur vers le Nord. Dans l'Atlantique tempéré, aucun rayon n'existe plus à 1 700 m ; les ultraviolets vont jusqu'à 1 000 m. Les fonds sont recouverts de vase argileuse ou calcaire, fine et molle. La température est constante, voisine de 4 degrés. L'oxygène paraît abondant. L'eau est sans



## La faune des grandes profondeurs

Les animaux des grands fonds marins sont adaptés à des conditions de vie très particulières. Ils appartiennent à des familles très diverses et manifestent une grande variété de formes et de

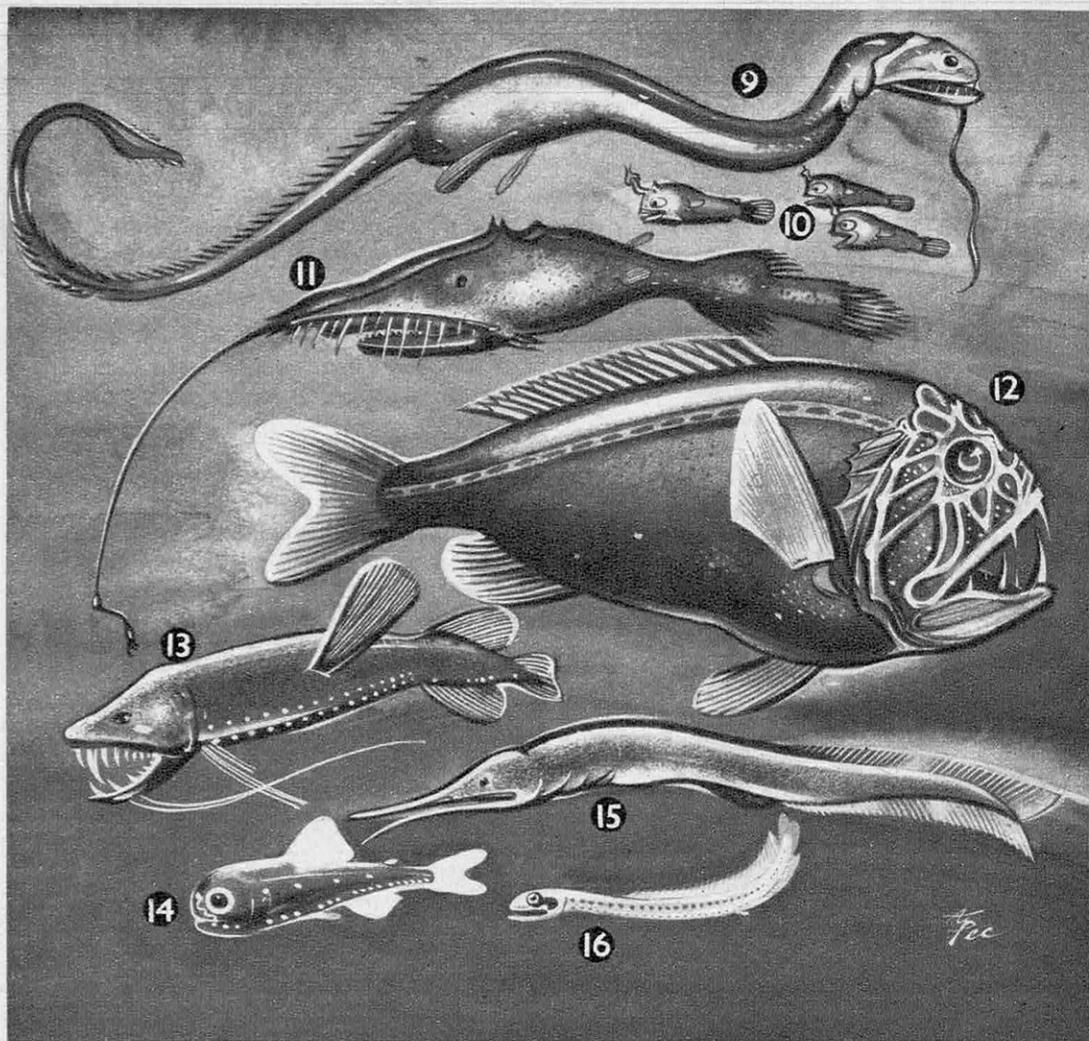
tailles. Ci-dessus, quelques-uns des êtres les plus typiques, sensiblement en grandeur naturelle : une Crevette aux antennes démesurées, le *Sergestes* (1); un Céphalopode pourpre doté d'organes lumineux, l'*Abraliopsis* (2); divers Poissons d'allure caractéristique. Certains possèdent des yeux tubulaires, dirigés vers le haut, comme l'*Opisthobroctus* (3) ou le *Sternoptyx* (7), ou vers l'avant

mouvement et l'obscurité serait totale sans la luminosité animale. La seule ressource alimentaire consiste dans les proies vivantes et les cadavres qui tombent de la surface. Les Poissons, les Actinies, les Crustacés mangent la vase et les particules organiques qu'elle renferme.

Bien que la lumière solaire ne pénètre pas, les animaux abyssaux sont brillamment colorés avec des rouges, des violets foncés, des pourpres. Les grands fonds sont éclairés par une lumière qui ne peut être que d'origine animale ; en effet, beaucoup d'espèces sont pro-

ductrices de lumière, soit que l'animal entier soit phosphorescent, soit qu'il porte des organes photogènes qui luisent comme des vrais fanaux. Les Poissons peuvent porter de tels organes à l'extrémité des barbillons, des tentacules, sur les nageoires, sur le corps, près de l'œil, le long des flancs.

Les yeux sont modifiés ; certaines espèces sont totalement aveugles ou ne possèdent que des yeux rudimentaires. Mais, le plus souvent, les yeux sont volumineux, hypertrophiés, analogues à ceux des animaux crépusculaires ou nocturnes vivant dans un milieu peu éclairé ;



comme le *Gigantura* (6). Il existe des espèces à yeux petits et rudimentaires comme le *Macrouroides inflaticeps* (8), forme dégénérée d'un genre à gros yeux, et le *Cyema* (15). Nombreux sont les Poissons porteurs d'organes producteurs de lumière : le *Melanocetus* (4), le *Linophryne* (5), le *Lophodolus* (10), le *Lasiognathus* (11), ont les premiers rayons de la nageoire dorsale formant

une tige qui porte un appât lumineux ; chez le *Bathophilus* (13), le *Diaphus* (14), l'*Ildiacanthus* (16), les organes lumineux sont alignés sur les flancs, et plus irrégulièrement chez le *Caulolepis* (12). Un grand nombre de ces Poissons ont des mâchoires énormes et des estomacs élastiques qui leur permettent, comme à l'*Ildiacanthus niger* (9), d'ingurgiter des proies plus grosses qu'eux.

il existe un Crustacé chez lequel ils atteignent le sixième du corps. Les yeux peuvent être portés par de longs pédoncules. De nombreux Crustacés, des Céphalopodes, des Poissons nageurs et carnassiers portent des yeux télescopiques ; ce sont des yeux allongés, plus ou moins cylindriques, disposés au voisinage de la ligne médiane.

Les appendices tactiles, barbillons des Poissons, antennes des Crustacés, présentent un développement extraordinaire.

Les eaux abyssales constituent une sorte de réserve abritant les derniers représentants

des groupes autrefois littoraux et abondants ; Crinoïdes à tiges, Pleurotomaires, Brachiopodes, certains Crustacés.

Est-il possible de se faire une idée de la vitesse avec laquelle la vie peut envahir un milieu déterminé ? Des expériences naturelles permettent de répondre à la question. On sait que la terrible éruption du 26 août 1883 a totalement stérilisé trois ou quatre îles du groupe des Krakatau ; une couche de 30 à 60 mètres de cendres brûlantes s'était répandue sur le sol. Toute flore et toute faune avaient succombé. Deux îles, Krakatau et Verlaten,

distantes de 40 km, ne tardèrent pas à se repeupler, et on a soigneusement noté les étapes de ce repeuplement. Trois années après l'éruption, la côte présentait déjà des plantes littorales et le sol portait des Algues bleues et des Fougères, dont les spores avaient été apportées par le vent. En 1919, une végétation dense avec associations végétales (forêt, steppe, plantes épiphytes), était solidement établie. Les semences de 238 espèces avaient été apportées par le vent, les courants, les Oiseaux. La faune n'est pas demeurée en arrière; en 1921, 573 espèces avec de nombreux individus étaient présentes; toutes, sauf une, ont gagné l'île par leurs propres moyens; 89 % des espèces sont des espèces ailées (Chauves-Souris, Oiseaux, Insectes) ou suffisamment légères pour être transportées par le vent (Araignées); quelques animaux terrestres sont arrivés sur des bois flottés. Cette expérience naturelle montre toute l'importance des moyens de dissémination dans le peuplement d'une place vide (l'île non détruite la plus voisine se trouvait à 18 km de Verlaten).

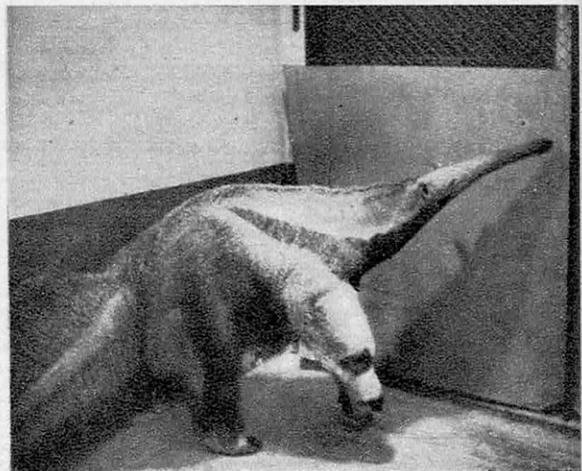
Il a été possible, d'autre part, de suivre la dissémination de certains Mollusques par l'intermédiaire des canaux qui établissent les communications entre les différents bassins hydrographiques. Tel a été le cas d'un petit bivalve originaire de Russie méridionale, la *Dreissensia polymorpha* qui a envahi pratiquement tous les fleuves de l'Europe occidentale en se faisant véhiculer par les coques des chaulands sur lesquelles elle se fixe. On la trouve maintenant même dans certaines conduites d'eau des villes où son robuste byssus, par lequel elle se fixe, lui permet de résister aux chasses rapides. Un autre Mollusque Gastéropode, le *Lithoglyphus naticoides*, originaire de l'Europe sud-orientale, effectue une migration semblable, mais plus lente.

On trouve là deux exemples de dissémination en partie active et en partie passive d'organismes dotés de très faibles moyens physiques de dispersion. On pourrait en citer bien d'autres. L'homme semble avoir joué là un rôle déterminant bien qu'involontaire. Mais, dans la plupart des cas, au cours de l'histoire de la Terre, la dispersion des espèces s'est faite naturellement, sans intervention extérieure, et les peuplements actuels, végétaux et animaux, sont le résultat de migrations survenues à des époques diverses, à la faveur de circonstances propices, géographiques et climatiques. Bien des points demeurent obscurs dans la répartition des faunes et des flores. La biogéographie, qui étudie cette dispersion, en recherche les origines et les causes déterminantes, constitue un important moyen d'investigation pour l'histoire de la vie.

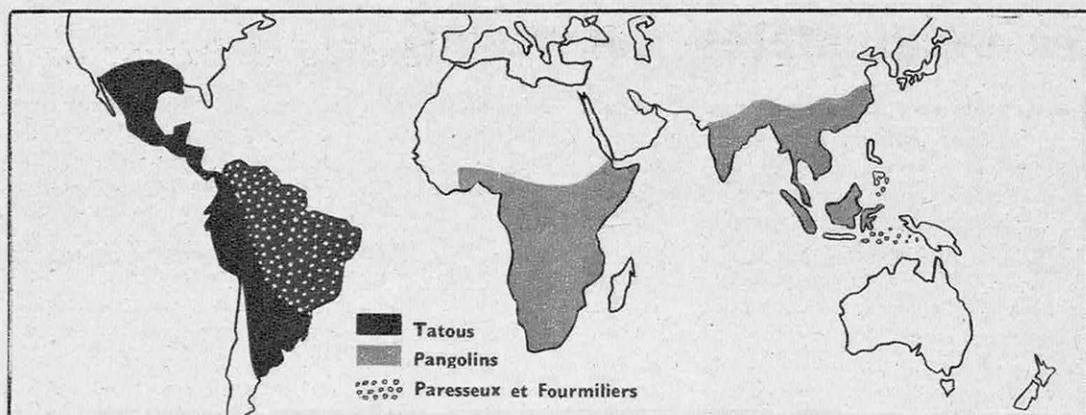
Andrée TETRY

## Édentés et Pangolins

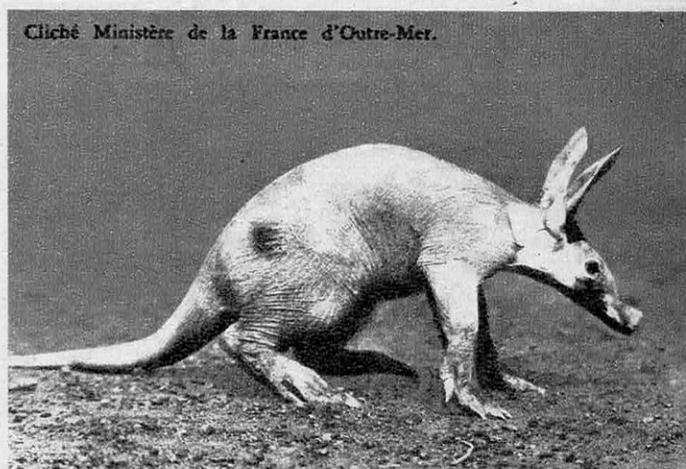
LE groupe des Édentés comprend trois types d'animaux d'aspect très différent et habitant tous dans le Nouveau Monde, mais avec des aires de répartition assez distinctes: les Paresseux, les Fourmiliers et les Tatous. Les Paresseux habitent exclusivement la forêt équatoriale de l'Amérique du Sud; ils sont remarquablement adaptés à la vie arboricole par leurs griffes puissantes qui leur permettent de se suspendre aux branches la tête en bas. Les Fourmiliers se rencontrent aussi en Amérique du Sud et ont un museau allongé, parfois tubulaire; ils sont grimpeurs et marcheurs et se nourrissent d'insectes; le Grand Fourmilier habite du Guatemala au Paraguay et au nord de l'Argentine. Les Tatous ont une aire de répartition sensiblement plus étendue; on les trouve non seulement en Amérique du Sud et en Amérique centrale, mais aussi en Amérique du Nord où le Tatou à neuf bandes se rencontre jusqu'au Texas; ils ont 60 à 70 cm de long, plus une queue de 20 cm; ils se nourrissent d'insectes et ne dédaignent pas les mollusques, les batraciens, les reptiles et même les végétaux. Les Pangolins sont des animaux de l'Ancien Monde; on en connaît diverses variétés aux Indes, en Chine, en Malaisie et en Afrique australe, orientale et centrale; ils sont insectivores, habitent les forêts et ont une activité nocturne. Malgré leurs aspects différents et paradoxaux, les Édentés du Nouveau Monde se groupent en un sous-ordre auquel on a longtemps rattaché les Pangolins et l'Oryctérope que l'on classe maintenant: les Pangolins parmi les Pholidotes et l'Oryctérope dans les Tubulidentés.



**Le Grand Fourmilier** qui mesure 2,20 m, y compris la queue touffue, a un curieux aspect avec son museau tubulaire. Il se nourrit des insectes qui s'engluent sur sa langue visqueuse introduite dans les fourmilières et les termitières.

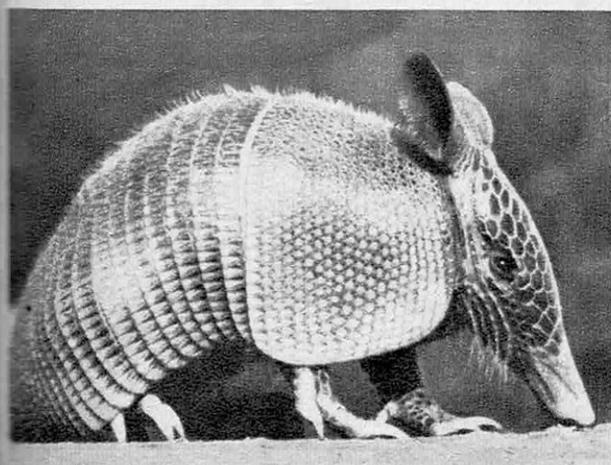


**Les Paresseux** habitent la forêt équatoriale où règne une humidité constante. Leurs mouvements sont très lents, mais ce sont d'excellents grimpeurs. Ils se nourrissent de feuillage. On voit ici un Paresseux dans son attitude normale de repos.

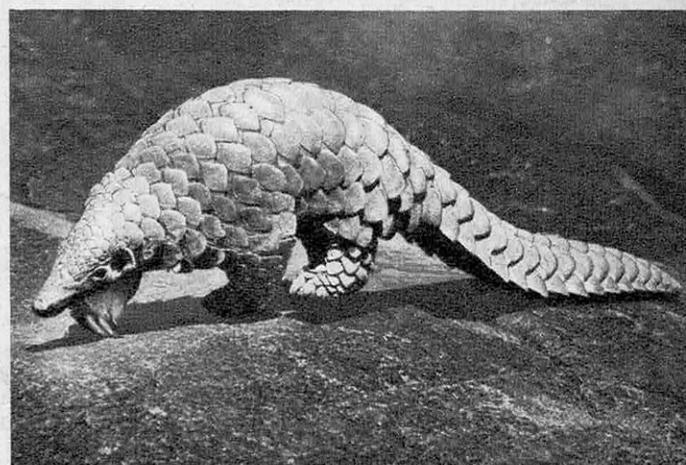


Cliché Ministère de la France d'Outre-Mer.

**L'Oryzétérope** ou Cochon de terre d'Afrique du Sud doit ce nom à son groin effilé un peu mobile, à ses cris assez forts et rares. Ce terrassier remarquable est le seul représentant d'un ordre autrefois rattaché à celui des Edentés.



**Les Tatous** sont d'excellents terrassiers qui creusent des terriers d'habitation et sont capables de s'enterrer en deux minutes dans un sol dur. Certains sont capables de se rouler en boule. Ils se nourrissent surtout d'insectes.



**Les Pangolins** habitent de préférence les zones boisées. Leur régime est strictement insectivore : Fourmis et Termites. Ils sont capables de s'enrouler sur eux-mêmes, mais leur queue est trop grosse pour qu'ils forment une véritable boule.

## Les mammifères qui volent

L'ADAPTATION à des conditions de vie identiques peut amener les représentants de groupes très divers à acquérir des dispositifs organiques analogues. Ainsi en est-il de la vie arboricole pour laquelle les principales adaptations sont en rapport avec l'accrochage et le saut. Parmi les plus remarquables se trouvent la queue préhensile et le parachute. La première se rencontre, par exemple, aussi bien chez les Singes du Nouveau-Monde que chez un Rongeur comme le Coendou, un Marsupial comme la Sarigue, un Lézard comme le Caméléon. Chez nombre de Mammifères arboricoles, une membrane réunit latéralement les

membres antérieurs aux membres postérieurs et peut servir de parachute ; elle permet aux animaux qui en sont pourvus de s'élancer à des grandes distances, d'un arbre à un autre, en vol plané : on trouve chez un Lézard une membrane analogue, et chez une Grenouille une palmure qui joue un rôle semblable. La faculté de voler n'est donc pas l'apanage exclusif des oiseaux : on sait que les Mammifères apparentés aux Chauves-souris pratiquent le vol battu ; outre les Mammifères, Reptiles et Batraciens arboricoles évoqués plus haut, certains Poissons des mers chaudes sont adaptés au vol plané.

American Museum of Natural History.

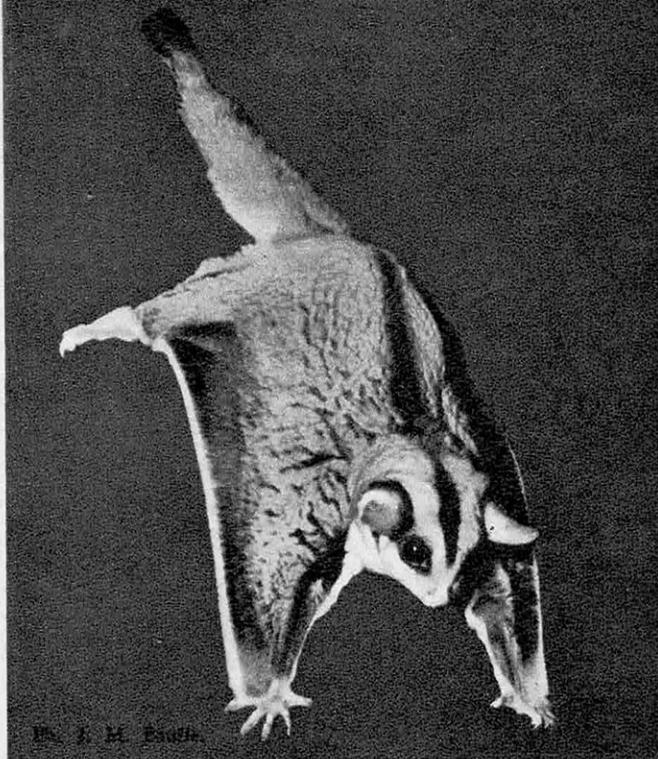


**Les Chauves - Souris** sont les seuls mammifères qui soient adaptés au vol véritable, par opposition au vol plané des mammifères arboricoles. L'avant-bras et quatre des doigts extrêmement allongés forment l'armature sur laquelle est tendue l'aile membraneuse. Le premier doigt de la main, muni d'une griffe, n'est jamais inclus dans la membrane et sert à grimper. L'aile membraneuse s'étend jusqu'aux pattes postérieures et, chez la plupart des espèces, enferme aussi la queue. Les grandes griffes des orteils postérieurs leur servent à se suspendre, à faire leur toilette, notamment à peigner leur fourrure. Les chauves-souris sont répandues dans le monde entier, sauf les régions polaires.



American Museum of Natural History.

**Le Galéopithèque** est un animal vraiment extraordinaire, difficile à classer à cause des caractères originaux de son squelette et de ses dents. C'est chez lui que l'on trouve le développement le plus accusé d'une membrane servant au vol plané. Il se nourrit exclusivement de feuilles et, en s'élançant du haut d'un arbre, il peut parfois franchir 65 mètres.



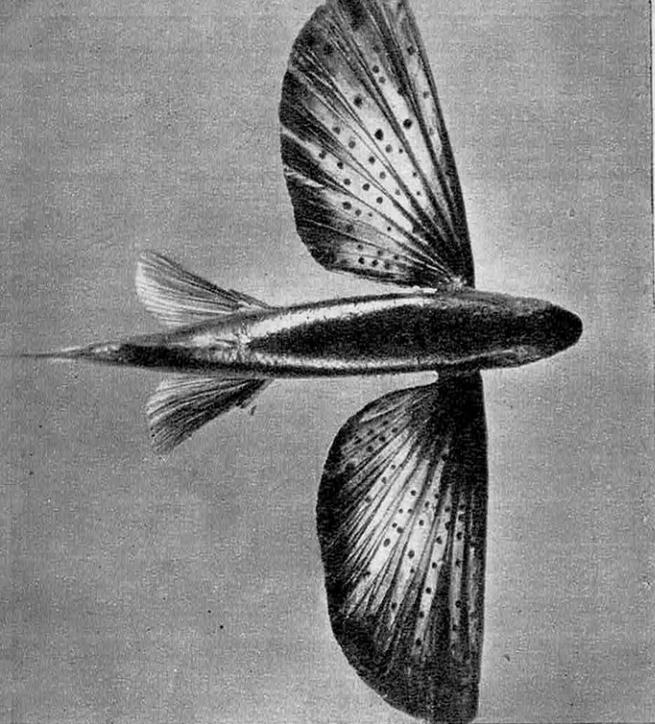
Ph. E. M. Smith.

**L'Opossum volant** (Marsupial) est un petit phalanger d'Australie, qui atteint environ 14 cm de longueur, queue comprise. Bien que les Australiens lui donnent le même nom, il n'est pas du tout parent des Opossums d'Amérique. La membrane molle, qui est tendue entre ses pattes, lui permet de planer et sa queue sert de gouvernail dans la chute. Il peut faire des sauts de 20 à 25 m.

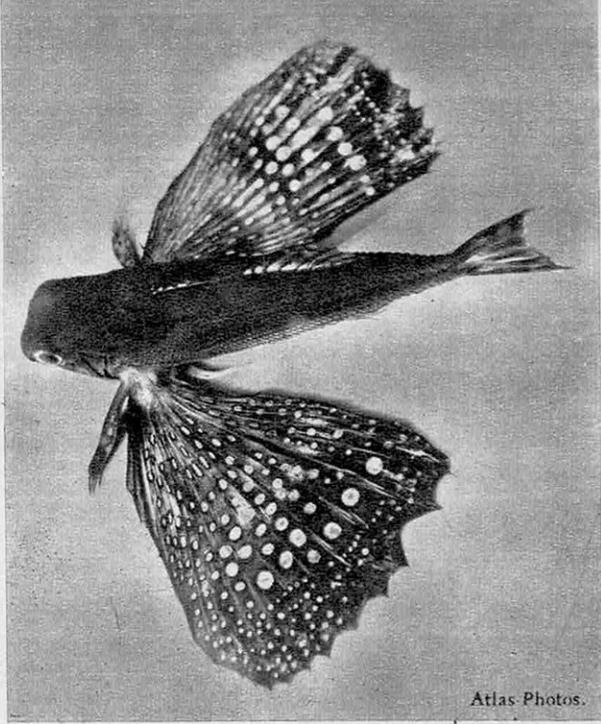
**Les Coendous** (rongeurs) sont des Porcs-épics arboricoles du Nouveau-Monde, répandus du Mexique au Brésil. Ils sont pourvus d'une longue queue préhensile. Leurs piquants sont

plus courts que chez les Porcs-épics de l'Ancien Monde. Leurs pattes postérieures sont adaptées à la vie arboricole par le développement d'une nodosité charnue opposable aux orteils.





**Les Exocets** ont des nageoires pectorales très développées, qui leur permettent un vol plané et ondulé, avec le vent, et surtout contre lui. Un Exocet peut ainsi parcourir jusqu'à 150 mètres horizontalement et s'élever à plusieurs mètres de hauteur. Ils ne dirigent pas leur vol, et il arrive qu'un vent violent les jette sur le pont des navires.



Atlas-Photos.

**Les Rougets volants** ou Dactyloptères sont souvent confondus avec les Exocets. Comme eux ils possèdent des nageoires pectorales très étendues, qui évoquent des ailes. Ils peuvent bondir hors de l'eau et planer en effectuant des ricochets comme un caillou plat. On les trouve dans l'Atlantique tropical et dans l'océan Indien.

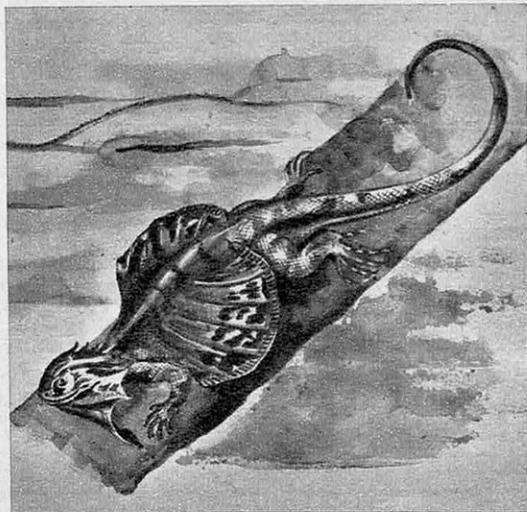
## Poissons, batraciens, reptiles volants

**Le Rhacophore**, grenouille de l'Asie méridionale et des îles de l'océan Indien, a l'allure générale d'une Rainette. Arboricole, elle vit dans les forêts et se nourrit d'insectes qu'elle attrape au vol. Ses doigts très allongés sont réunis par une membrane dont le développement permet une sorte de vol plané d'un arbre à l'autre. L'extrémité de chaque doigt porte aussi une ventouse qui permet à la grenouille de courir le long des branches.



Dessins G. Mauger.

**Le Draco** ou Dragon volant de Malaisie, a la peau des flancs soutenue par six très longues côtes. Cette membrane forme un parachute qui se rabat, au repos, sur les côtés du corps. Le Draco est un reptile de la famille des Agamidés. Il a de 10 à 15 cm de long et fréquente les forêts d'Asie Méridionale et d'Insulinde. Il se met à l'affût, guette les insectes et saute sur eux, en parcourant une distance qui peut atteindre 6 à 8 m.



## Les oiseaux qui marchent

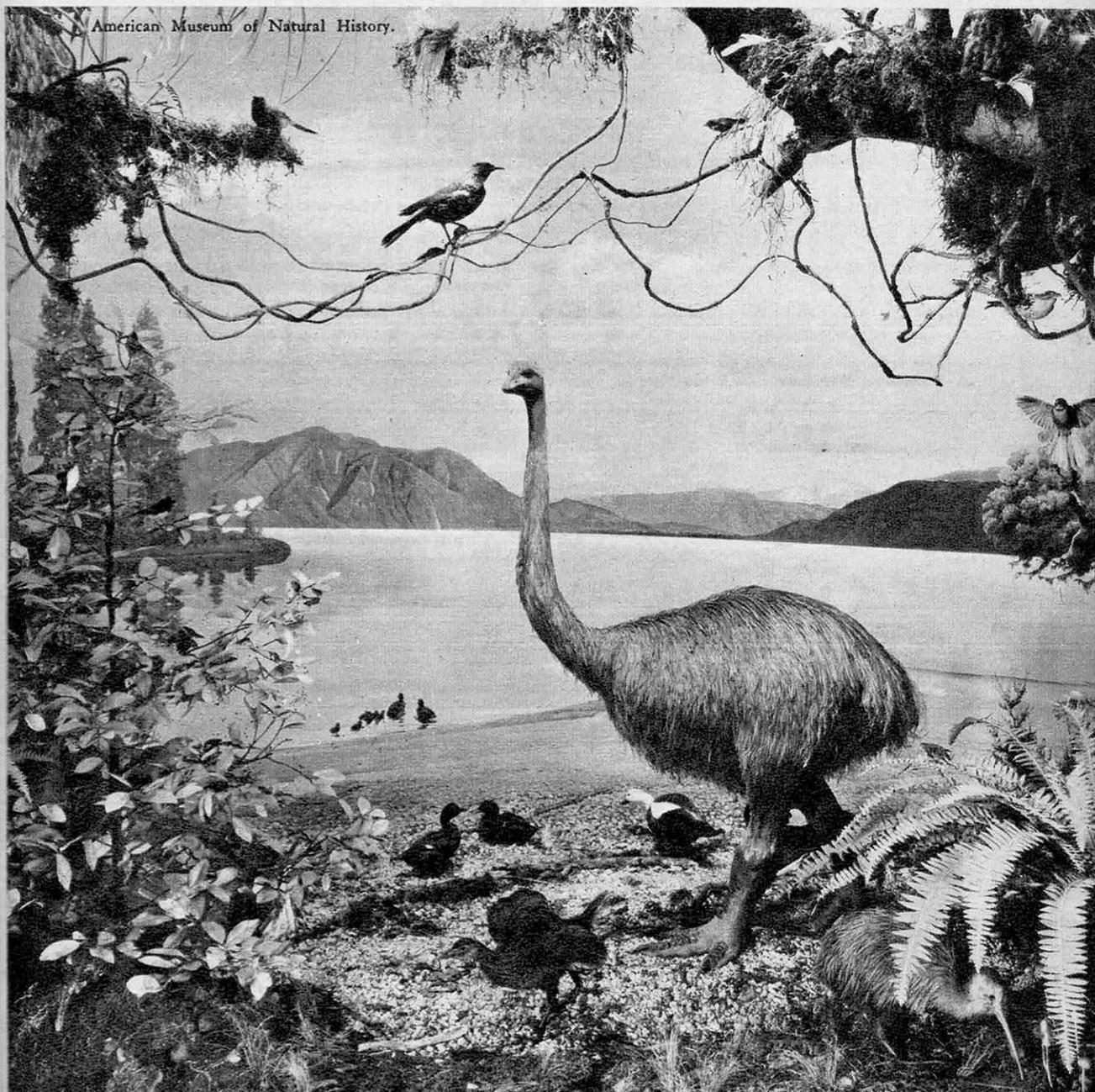
LES oiseaux terrestres non voiliers appartiennent au groupe des Ratites qui renferme les géants de tous les Oiseaux actuels et récemment éteints. Ce sont des formes archaïques ou fort dégradées dont certains caractères crâniens rappellent encore ceux des Reptiles. Le sternum convexe est totalement dépourvu de bréchet; les ailes sont réduites ou tout à fait rudimentaires; les pattes sont ter-

minées par 2 ou 3 doigts. Autrefois ces Oiseaux ont été beaucoup plus nombreux, ils sont en voie de régression et leur survie est fort menacée. Outre les Ratites, d'autres Oiseaux, les Manchots, sont encore incapables de voler, mais ce sont des oiseaux marins, à bréchet bien développé et ailes transformées. Ils sont adaptés au milieu aquatique et présentent une spécialisation poussée à l'extrême.

**Le Moa ou Dinornis** est un grand oiseau, coureur sans ailes, qui vivait en Nouvelle-Zélande jusque vers le XVII<sup>e</sup> ou le XVIII<sup>e</sup> siècle. Bien qu'ayant été fort abondant, il est maintenant complètement éteint, massacré par les

indigènes. Mais on a retrouvé de nombreux restes de ces oiseaux (squelettes, œufs, débris de peau et de plumes), permettant de les reconstituer: véritables géants, ils arrivaient à mesurer 3 mètres à 3 m 50 de hauteur.

American Museum of Natural History.





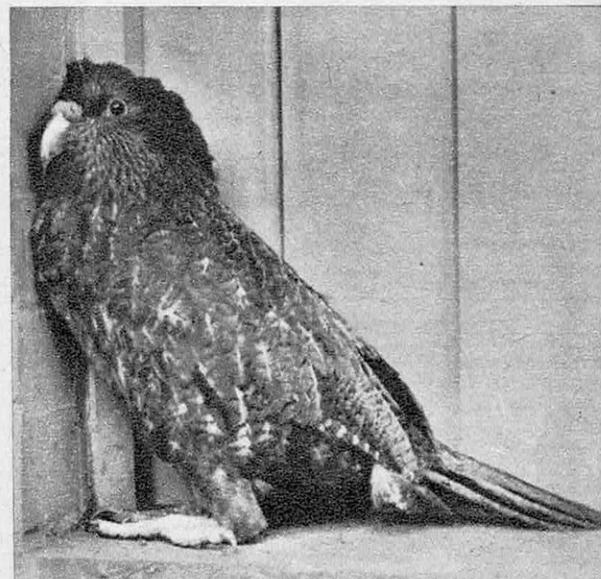
**Les Nandous ou Rhéa** sont des oiseaux rappelant les Autruches, qu'ils remplacent dans le Nouveau-Monde. Ils s'en distinguent par la présence à chaque patte de trois doigts antérieurs au lieu de deux et par une plus petite taille. Les plumes n'ont pas de valeur ornementale. Ce sont des oiseaux coureurs des steppes sud-américaines, depuis le Brésil jusqu'en Patagonie et au Pérou.

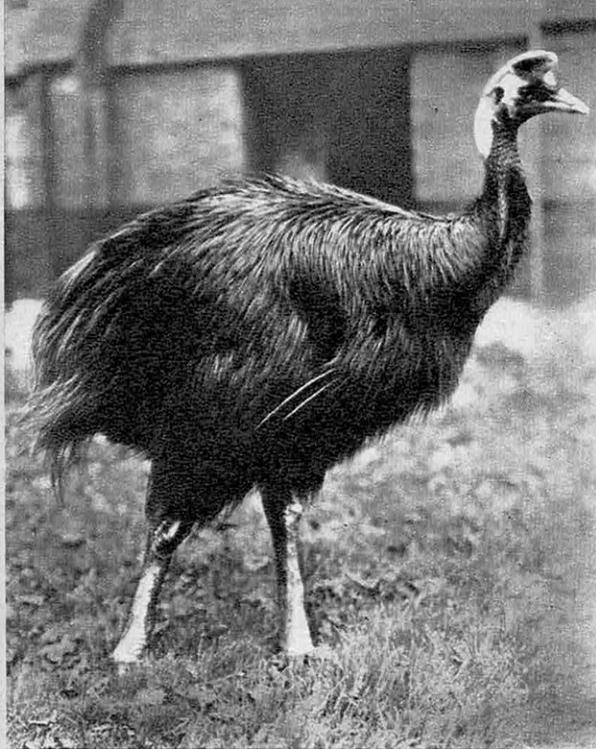
**La Poule Maori** ou Ocydrome, est un Râle géant propre à la Nouvelle-Zélande. Elle a la taille d'une volaille aux ailes très courtes et non fonctionnelles ; le bec est court et robuste. Elle appartient à la famille des Rallidés, dont un assez grand nombre d'espèces sont incapables de voler.



**L'Autruche** est le plus grand et le plus volumineux de tous les oiseaux actuels. Son inaptitude au vol est compensée par la force extraordinaire des pattes, qui favorisent une course rapide et constituent des armes redoutables. Les Autruches vivent dans toute la région africaine et arabo-syrienne à végétation clairsemée. La femelle dépose une quinzaine d'œufs dans une excavation du sol.

**Le Kakapo** appelé aussi perroquet-hibou à cause des disques de plumes qui entourent ses yeux et de ses mœurs nocturnes, est un oiseau très curieux de Nouvelle-Zélande. Il se cache pendant le jour dans des trous sous les racines des arbres ou sous les rochers et sort à la nuit tombante.





**Les Casoars** sont propres à la région papoue (Moluques, Nouvelle Guinée, Queensland). Ils sont caractérisés par un plumage noir; la tête et le haut du cou sont dénudés et brillamment colorés. La tête porte un casque corné. Ce sont des oiseaux solitaires et farouches vivant dans les forêts. La femelle pond trois à six gros œufs verts dans une excavation garnie de broussailles.



**L'Aptéryx ou Kiwi** représente le type le plus dégradé de tous les oiseaux. Il vit uniquement en Nouvelle-Zélande; son existence est menacée, car c'est un oiseau terrestre, pratiquement dépourvu d'ailes, réduites à un moignon très court, et sans défense. Les Aptéryx ont des habitudes nocturnes et habitent les forêts épaisses. Ce sont les mâles qui couvent et élèvent les jeunes.

**Les Manchots bleus** de la Nouvelle-Zélande, appelés souvent Pingouins par erreur, comme les Manchots des autres côtes et îles de l'hémisphère austral, sont adaptés à la vie aquatique. Ils présentent une stature bien différente de celle des autres oiseaux par suite de leur posture érigée quand ils sont à terre et de leur démarche de plantigrade qui ne s'effectue qu'avec difficulté. Leurs instincts sociaux sont devenus légendaires. Nageant et plongeant avec dextérité, ils capturent leurs proies sous l'eau, se propulsant au moyen de leurs ailes. Les Manchots bleus sont les plus petits de tous les Manchots et ne mesurent pas plus de 45 cm.



Photos Ambassade d'Australie.



## Les animaux, maîtres "ès-camouflage"

Le lièvre tapi au fond du sillon est à peu près complètement invisible ; les animaux des déserts ont une couleur isabelle qui rappelle la teinte générale des sables ; le renard et l'ours polaire, l'hermine sont blancs sur la neige. Tous ces animaux qui présentent une coloration en harmonie avec celle du milieu où ils vivent sont dits *homochromes* avec ce milieu. Cette identité de couleur peut être fixée et définitive, ou changeante ; l'animal est alors capable d'acquérir en un temps très court des coloris variés (Caméléons, Poissons plats, etc.). Le phénomène de l'homochromie peut se compliquer. A la presque identité des couleurs peuvent s'ajouter des ressemblances de formes, de dessins, d'attitudes. Il s'agit alors d'*homotypie* ou d'*homomorphie*. L'animal ressemble à un objet inanimé : pierrailles, écorce, bague de bois, feuille verte ou morte, feuille rongée, algue, etc. Homochromie et homomorphie ont pour effet de dissimuler l'animal à la vue des prédateurs. Pour atteindre le maximum d'efficacité, elles sont associées à un comportement particulier, notamment l'immobilité pendant le jour.

Une autre forme de camouflage est réalisée par le *mimétisme*. Deux animaux non appa-

rentés, appartenant à des familles ou même à des classes différentes, se ressemblent étonnamment. Le plus souvent, une espèce assez rare, comestible, sans défense, « mime » une autre espèce fréquente, non comestible, protégée par une défense chimique ou par une coloration homochrome, donc avantagée par rapport aux prédateurs. La ressemblance est parfois si grande que modèle et copie se confondent.

Comment s'explique l'origine de ces camouflages ? Sont-ils relevables uniquement de la sélection naturelle ? L'objection la plus importante est que, fondés sur la couleur et la forme, ils ne sont valables que vis-à-vis de prédateurs à vision excellente et chassant à vue, les Oiseaux, par exemple. Or la plupart des Mammifères ayant une vision trouble chassent à l'odorat, au tact, au mouvement. Dans la mer, où les seuls prédateurs, Poissons et Mollusques céphalopodes, ne sont sensibles qu'au mouvement, les déguisements, aussi précis soient-ils, ne doivent pas être efficaces et néanmoins ils y sont fréquents. Rien d'ailleurs ne prouve que le camouflage animal soit dirigé contre les prédateurs. On peut donc dire que le problème reste entier.

← **Certains papillons nocturnes** qui, au repos, s'appliquent sur l'écorce des arbres, ont des dessins brunâtres ou verdâtres sur fond plus clair qui imitent très bien les aspérités de l'écorce, les mousses et les lichens qui peuvent s'y trouver.

**Le caméléon est considéré** comme le type de l'animal à couleur changeante, s'harmonisant rapidement avec le décor. Ces variations de coloration sont des réactions à des stimulations externes : lumière, température, excitations variées. ↓



**Ces phasmes de la** →  
**fougère**

vivent sur la plante à laquelle ils ressemblent. Végétariens, ils sont, ainsi déguisés, cachés aux yeux des insectivores ennemis. Par une très curieuse coïncidence, les œufs de cet insecte, qui a l'air d'un végétal, ressemblent eux-mêmes à des graines. Il se reproduit par parthénogénèse.

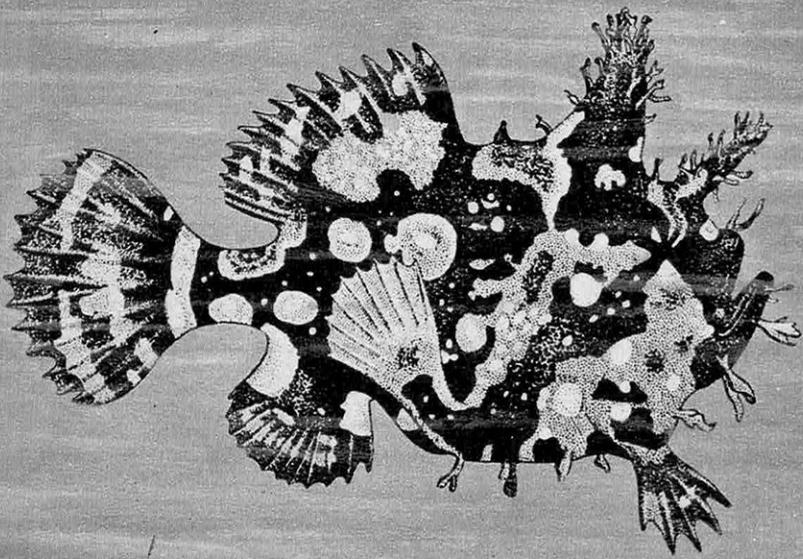
← **Le Phyllopteryx**, hippocampe des Sargasses, est de forme encore plus curieuse que ses congénères. L'aspect habituel d'un hippocampe est à peine reconnaissable dans cet animal imitant parfaitement son milieu. Tout son corps est en effet prolongé par de longs filaments qui ressemblent à des algues ramifiées.

**Le phasme d'Europe** →

qu'on appelle aussi « bâton du diable » se confond parfaitement avec les végétaux qui l'entourent. Il s'accroche aux branches suivant l'angle des feuilles (ici du lierre) par sa dernière paire de pattes, tandis que les deux autres, étendues, ont l'air de brindilles, et il reste immobile pendant le jour.

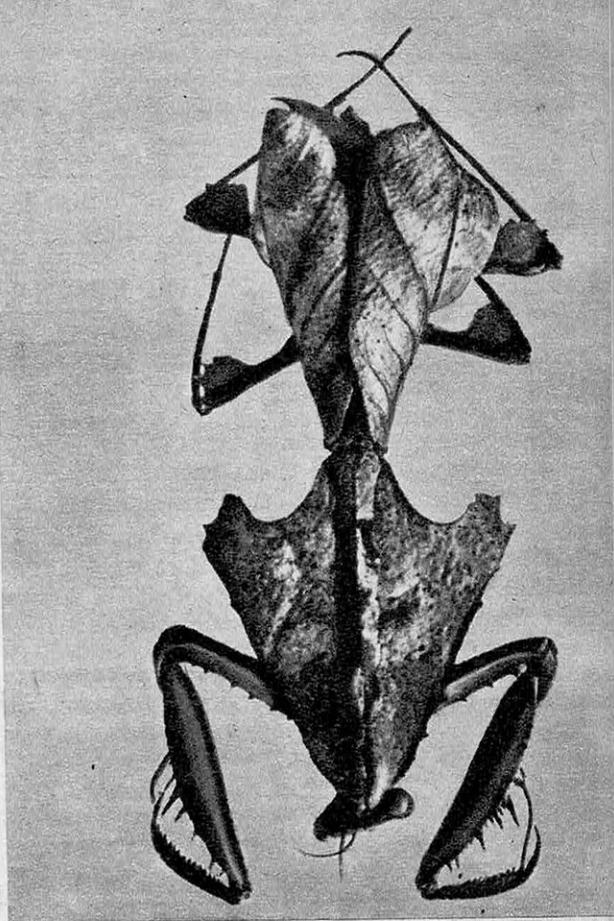
D'après Cott.

← **Le Poisson Pterophrène tumida** se trouve aux Antilles et dans tout le Gulf Stream, dérivant avec les algues flottantes. Il atteint une longueur de 12 à 15 cm; sa teinte est jaune foncé avec des taches et des bandes blanches irrégulières. Ces dessins et les prolongements charnus qui déforment l'animal le rendent invisible.





Photos Le Charles.

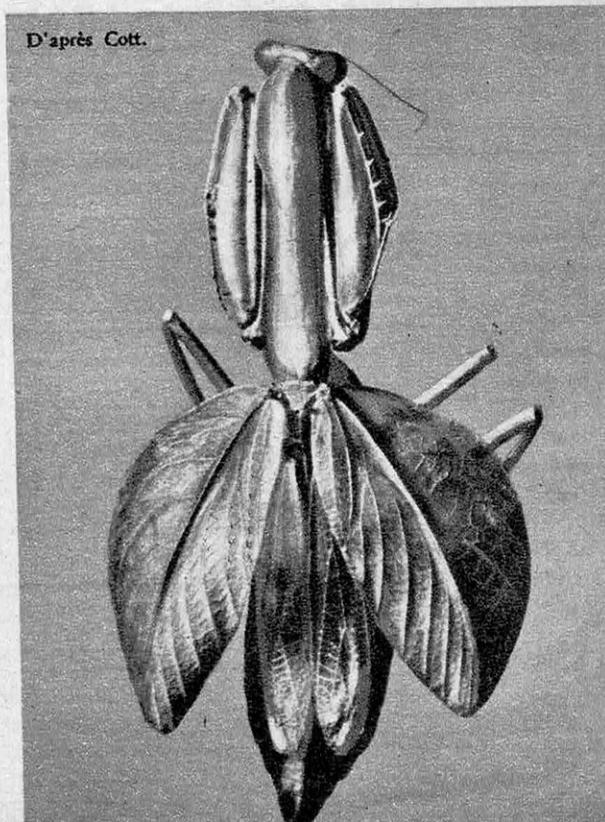


**Les Deroplatys** (ci-dessus) sont des mantes d'Amérique qui montrent d'étroites ressemblances avec des feuilles par certaines parties de leur corps.



**Les Stigmatoptera** (ci-dessous) sont aussi une sorte de mante-feuille fréquente en Amérique

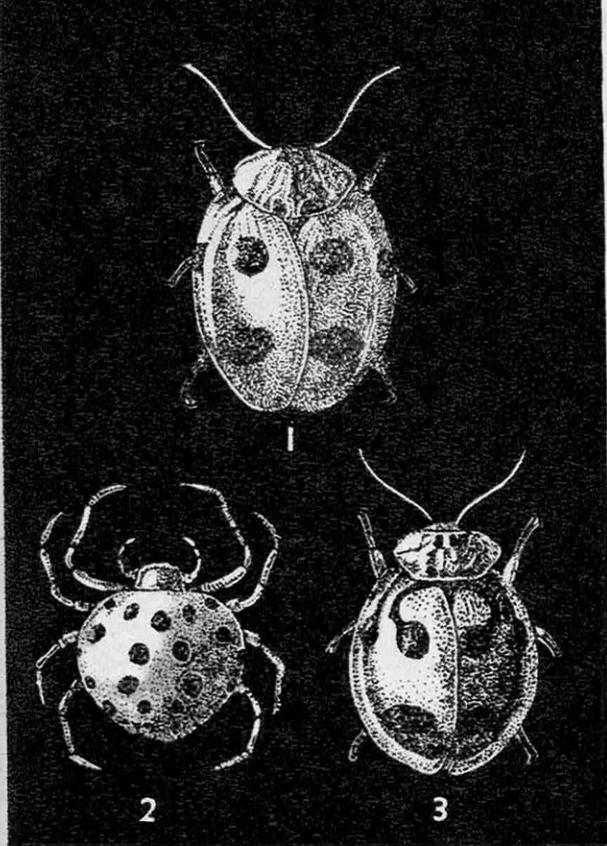
D'après Cott.





**Le Nyctibius griseus**, oiseau de l'Amérique tropicale, est protégé par sa couleur et son attitude. Son plumage comporte un mélange de brun, de noir et de gris qui lui donne l'aspect d'un morceau de bois pourri. Son comportement a été observé par de nombreux ornithologistes, comme N. B. Kinnear, Muir et Buttler. Ceux-ci ont remarqué que l'oiseau installe toujours son nid dans un trou, au sommet ou à l'aisselle d'une courte branche brisée. La place est souvent juste

suffisante pour recevoir l'œuf unique que pond la femelle. Pour couvrir, l'oiseau s'installe verticalement, la queue appliquée contre l'arbre, la poitrine et la tête redressées, de sorte que, restant complètement immobile, il simule de façon frappante l'amorce de la branche cassée. Il conserve cette attitude tout le jour et ne chasse que la nuit les mantes et les sauterelles. Le jeune adopte rapidement le même comportement, généralement deux ou trois semaines seulement après l'éclosion.



D'après Chopard.

**Les imitateurs des coccinelles** sont nombreux, peut-être parce que celles-ci sont dédaignées de la plupart des animaux insectivores. Les meilleurs mimes sont, sans aucun doute, les blattes du genre *Prosoplecta*: *Prosoplecta semperi* (1), *Prosoplecta nigroplagiata* (3), et une araignée de la famille des *Argiopides*, *Paraplectana walleri* (2).

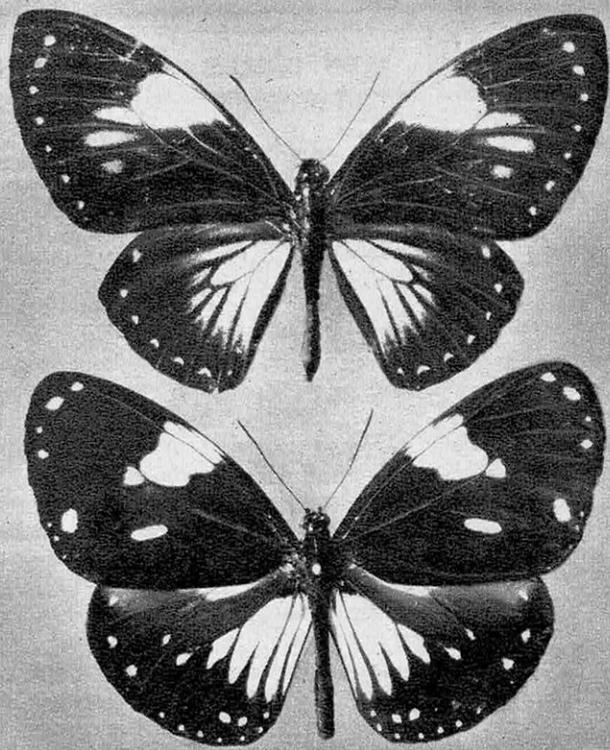
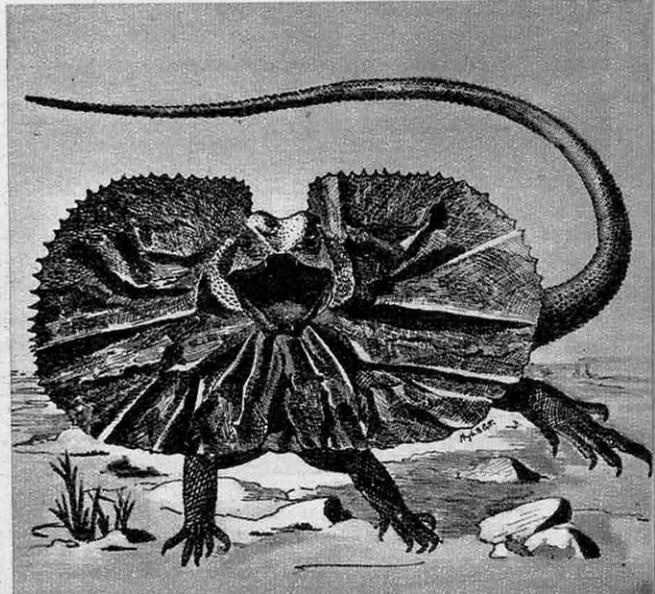
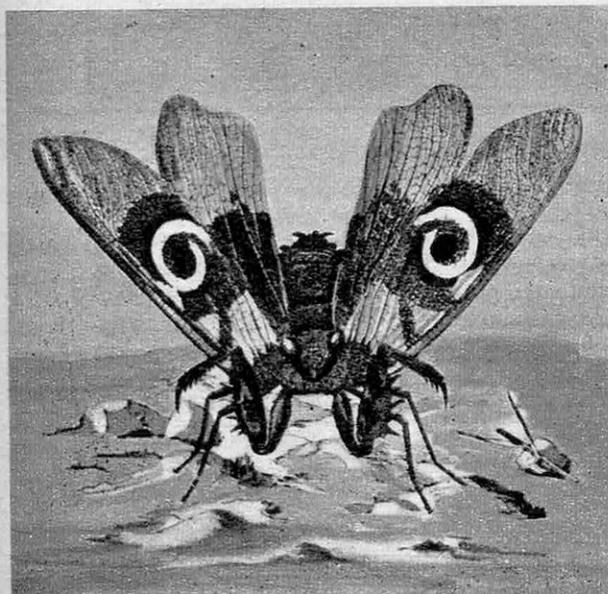


Photo Le Charles.

**Le *Papilio paradoxa aenigma*** est un Papilionide, et son modèle (au-dessous) *Euplaea diocletianus*, un Danaïde. Le Papillon ne présente plus aucun des caractères extérieurs de son groupe. Sa forme et la couleur noirâtre avec des raies bleues sont tout à fait celles de l'*Euplaea*. Les deux insectes semblent vivre en association.

**Les Matamores** (ainsi nommés par Lucien Cuénot) essaient, comme ce nom l'indique, d'intimider leurs adversaires. A l'approche de l'ennemi, un lézard, par exemple, la Mante d'Afrique *Pseudoeobolus Wahlbergi* (ci-dessous à g.), déploie ses élytres qui portent chacun un grand ocelle figurant l'œil d'un animal fantastique. Le Lézard

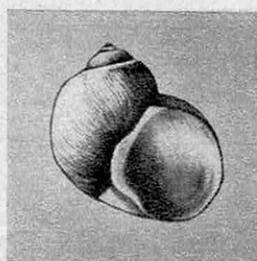
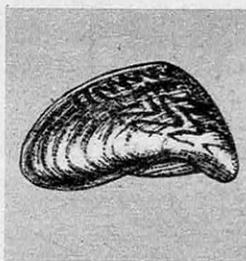
à collerette (à dr.) a autour du cou un grand pli en forme de jabot plissé qui peut être étendu pour former un grand col circulaire soutenu par des baguettes cartilagineuses. En déployant cette collerette verte et rouge et en ouvrant en même temps une grande bouche jaune safran, l'animal semble vouloir produire un effet terrifiant.



## Ces deux Mollusques envahissent l'Europe

**L**a *Dreissensia polymorpha* est un mollusque originaire de la Russie méridionale et qui a progressé rapidement vers l'ouest ; ses étapes sont suivies depuis 1771. Elle a envahi peu à peu les fleuves russes, allemands, danois, hollandais, anglais, belges et enfin français. Elle a ainsi fait successivement son apparition dans la Somme, dans l'Escaut à Valenciennes, dans la Seine à Rouen et à Paris, dans le canal de la Marne au Rhin (1854), dans la Moselle (1856), dans le Rhône à Lyon, dans la Garonne à Agen et dans toutes les rivières du midi de la France. Sa propagation a été grandement facilitée par le développement des trafics commerciaux ; grâce à son puissant byssus, la *Dreissensia* se fixe à la coque des bateaux et se fait ainsi véhiculer sur de grandes distances.

**Le *Lithoglyphus naticoides*** est un mollusque originaire des bassins du Danube et du Dnieper et de l'Europe sud-orientale. Il effectue actuellement une migration de l'est vers l'ouest analogue à celle de la *Dreissensia polymorpha*, les animaux eux-mêmes ou leurs

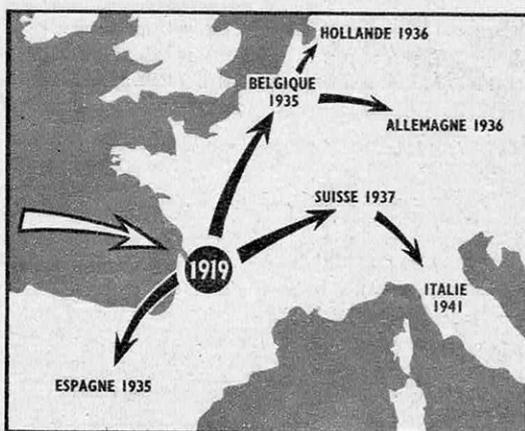


*Dreissensia polymorpha*      *Lithoglyphus naticoides*

œufs étant transportés par les navires sur la coque desquels ils se fixent ; l'absence de byssus rend moins solide l'adhérence du mollusque aux parois des chalands et c'est pourquoi son extension a été moins rapide. Une première migration, ayant son origine dans le Dnieper, a provoqué l'envahissement des fleuves de l'Allemagne du nord et de l'est de 1882 à 1912 ; une seconde, partant du cours supérieur du Danube, a atteint successivement l'Allemagne occidentale, la Hollande (1874), l'est de la France, puis le bassin de la Seine et tout le réseau fluvial français.

## La grande offensive du Doryphore

**L**e *Doryphore* est un petit coléoptère découvert en 1824, par Say, dans une vallée du Colorado. Il est parti à la conquête de l'Amérique en même temps que les colons développèrent leurs champs de pommes de terre. En 1859, il envahissait le Nebraska et, en 1874, toutes les côtes de l'Atlantique. Rejeté d'Allemagne, en 1877, et d'Angleterre, en 1907, il profite de la première guerre mondiale pour s'implanter dans la région de Bordeaux où on constate sa présence en 1919. Il y fut probablement introduit par des marchandises importées des Etats-Unis. De là, il gagna toute l'Europe. Seule l'Angleterre a pu s'en



garantir jusqu'ici, en faisant appel à des mesures extrêmement rigoureuses.

L'offensive du *Doryphore*, comme celle de nombreux parasites, est due en grande partie au fait qu'en poussant le développement de certaines plantes ou en les transplantant dans de nouveaux milieux, l'homme a rompu l'équilibre naturel qui limitait leur prolifération. Rivalisant de fécondité avec les plantes que l'on veut forcer, ils deviennent alors de véritables fléaux. Ci-dessus, carte d'invasion du *Doryphore* en Europe occidentale.

## Le Crabe chinois dévaste nos rivières

Ce crustacé rappelle assez bien, par son aspect général, le crabe vulgaire de nos côtes. Il s'en distingue cependant par sa couleur vert olive teintée de jaune et sa carapace un peu plus large que longue et plus épaisse. Mais le caractère le plus apparent réside dans l'aspect des pinces qui sont très vigoureuses et recouvertes par un épais manchon de poils longs d'environ 5 millimètres. Les pinces des femelles, moins développées, présentent des soies plus courtes et moins abondantes (la photo ci-contre représente un mâle). Ce crabe vit en eau douce et se reproduit en mer. Il devient adulte vers l'âge de 3 à 5 ans et mesure alors 40 à 60 millimètres.

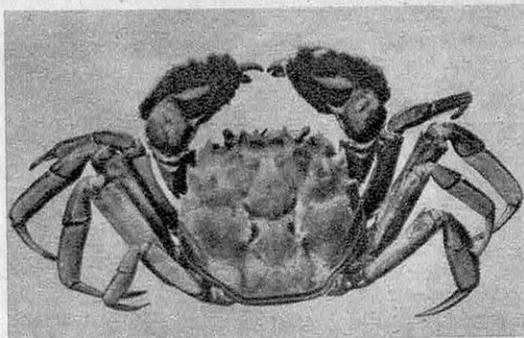
Dès le début de l'automne, mâles et femelles entreprennent la migration qui les conduit vers la mer. Ils se réunissent en eau saumâtre. Puis les femelles, accompagnées de nombreux mâles, émigrent plus au large, en pleine mer, portant leurs œufs dont le nombre peut varier de 300 000 à près d'un million.

Les crabes passent ensuite l'hiver enfouis dans le sable et, au début du printemps, quand l'eau se réchauffe, ils se remettent à voyager vers le rivage. L'éclosion des œufs a lieu en avril, mai et même juin. S'il arrive à quelques femelles de pénétrer dans les estuaires ou en eau douce avant cette éclosion, les œufs meurent presque immédiatement.

Les jeunes larves peuvent parcourir ensuite de grandes distances en mer et dans l'embouchure des cours d'eau, en se laissant entraîner par les courants. Ces jeunes passent ensuite l'automne et l'hiver dans l'eau saumâtre et douce et, après avoir subi une dizaine de mues, ils remontent, dès le printemps, le cours des fleuves.

Comme son nom l'indique, ce crabe est originaire de Chine. Son habitat normal s'étend de la province de Fo-Kien, au sud, jusqu'à la côte occidentale de la Corée, au nord. On le trouve le long des côtes, dans les rivières et même dans les étroits fossés d'eau douce. Il a été capturé jusqu'à 1 400 km à l'intérieur des terres.

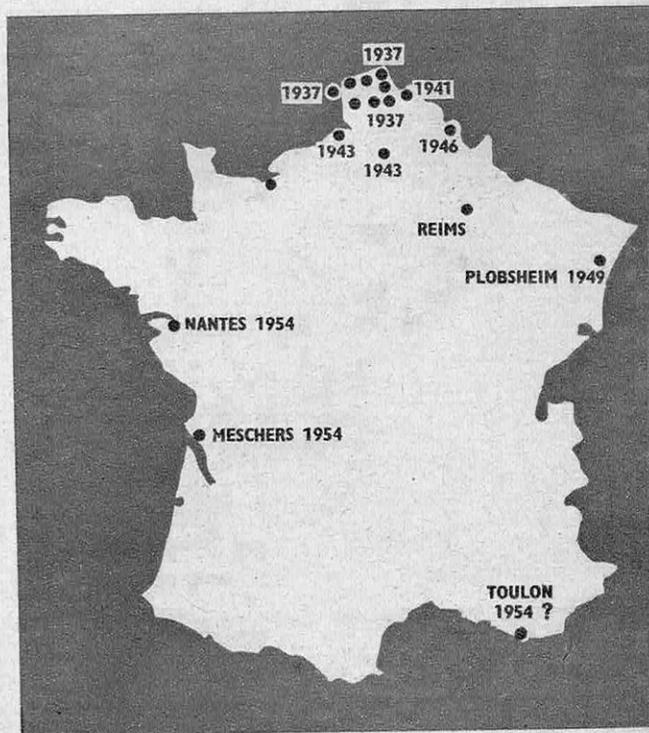
Introduit accidentellement pour la première fois en Allemagne, en 1912, dans l'Elbe ou le Weser, le crabe chinois s'est répandu, depuis, à l'intérieur des réseaux fluviaux et le long des côtes. Il se rencontre, actuellement, au nord de son point de départ, sur les côtes du Danemark, et remonte en mer Baltique, en Suède et jusque dans le golfe de Finlande ; au sud-ouest, il est présent sur les côtes de la Hollande, de la Belgique et de l'Angleterre. Pour la France, la carte ci-contre montre sa répartition et les étapes de l'envahissement

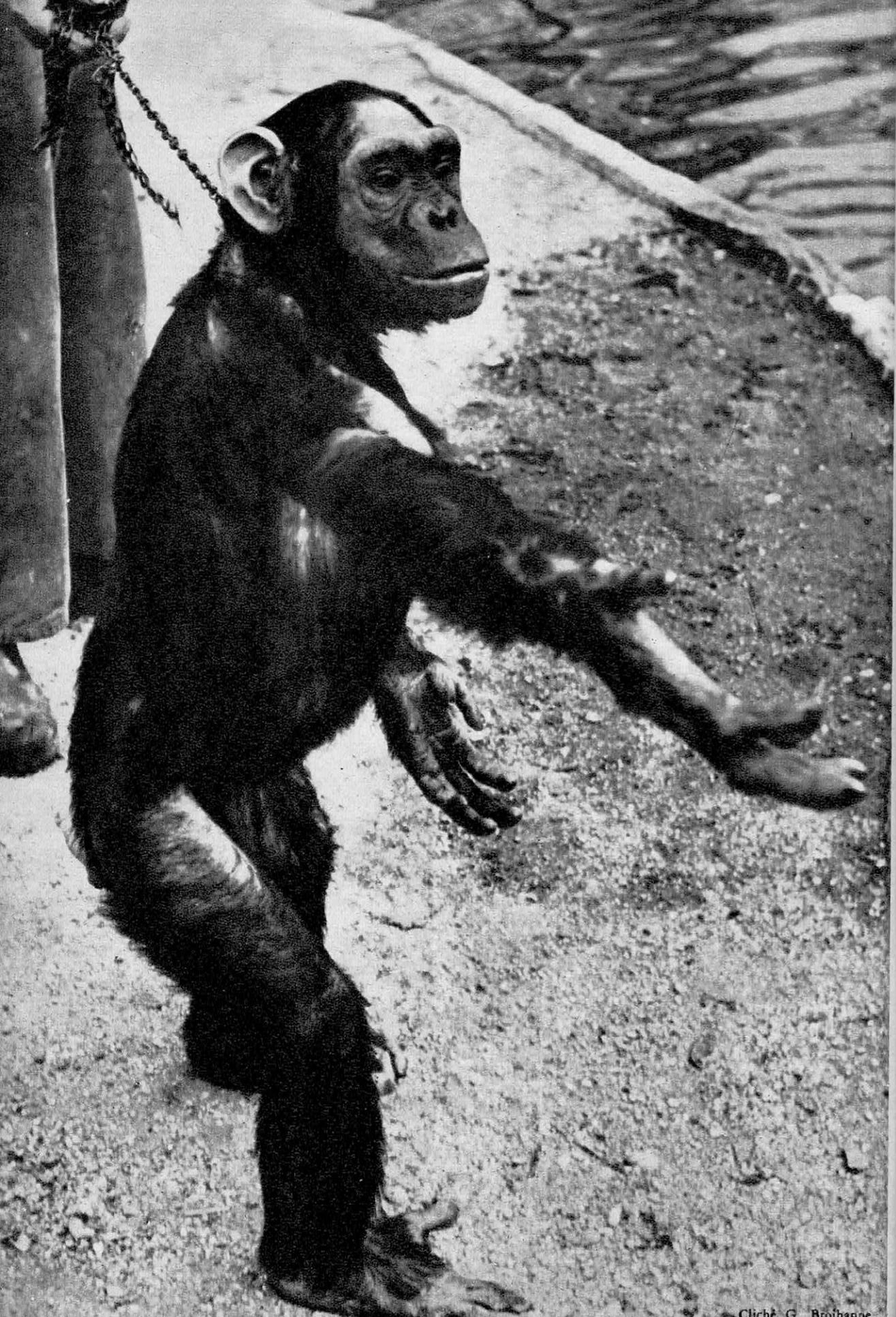


avec leurs dates. Suivant les fleuves, rivières et canaux, il pénètre en France jusqu'à Péronne (150 km de la mer) et a déjà été capturé à Reims (300 km). On l'a pris également en Alsace, à Plobsheim (700 km de la mer par la voie la plus directe). On en aurait pêché, récemment, en Méditerranée (Toulon), fait qui demande encore confirmation.

La progression du crabe chinois sur nos côtes et dans nos eaux douces présente une importance toute particulière, car ce crustacé est un élément nuisible pour le reste de la population aquatique dont il mange la nourriture. Il endommage les filets de pêche, détruit les amorces des lignes de fond, obstrue l'entrée des nasses, mais surtout il fait s'effondrer les berges des fleuves en y creusant de nombreuses galeries.

Marc ANDRÉ





# DES ACTES RÉFLEXES AUX ACTES INTELLIGENTS

La psychologie animale est, selon le point de vue duquel on la considère, une science très ancienne ou une science très récente. Tout le monde la connaît sous son aspect ancien : c'est la description des « mœurs » des animaux, branche de l'Histoire naturelle illustrée en France, aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, par Réaumur, Buffon, J.-H. Fabre, etc. Cette forme de psychologie animale est toujours une branche importante de la zoologie, mais, depuis un demi-siècle environ, la psychologie animale se rapproche de la biologie générale et de la physiologie : elle vise à analyser les types de comportement des animaux pour en connaître les lois générales et les rattacher, dans la mesure du possible, à des propriétés morphologiques et physiologiques et au degré d'organisation du système nerveux.

Sous cette forme nouvelle, la psychologie animale, plus explicative que descriptive, est une science expérimentale plus qu'une science d'observation. On peut l'appeler *Psychologie biologique*. Science du XX<sup>e</sup> siècle, elle a été ou est représentée en France par Georges Bohn, Etienne Rabaud, Henri Piéron, Paul Guillaume, Pierre-Paul Grassé, etc. Elle peut être considérée comme le couronnement des études biologiques : c'est la science des phénomènes les plus élevés que présentent les êtres vivants.

Le premier but de la psychologie biologique est de fournir une classification précise et pratique des comportements des animaux. Elle distingue d'abord des *comportements innés*, c'est-à-dire qui ne doivent rien à l'histoire des individus, aux circonstances de leur vie passée, à leur « expérience » propre : réflexes, tropismes, instincts.

Puis viennent les *comportements acquis* au cours de la vie des individus : habitudes appri-

ses, actes de mémoire et, enfin, actes d'intelligence.

Deux remarques s'imposent au sujet de cette classification : tout d'abord, les comportements forment une hiérarchie, allant des actes les plus simples aux plus complexes. Un réflexe ou un tropisme est un comportement beaucoup plus simple qu'un acte instinctif ou un acte intelligent. Cette hiérarchie des comportements résume donc le développement du psychisme animal.

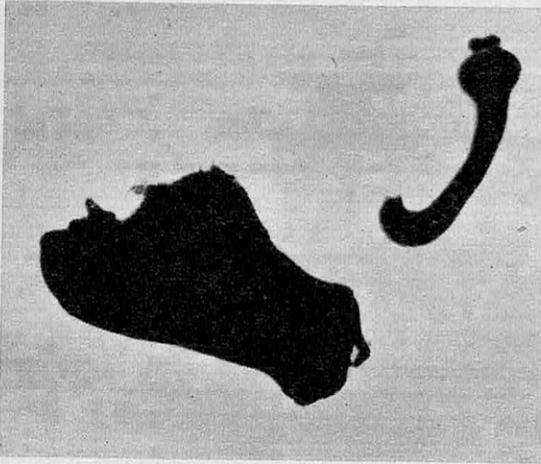
## Pascal s'était trompé

D'autre part, ces types généraux de comportements ont un caractère plus ou moins abstrait. Ils correspondent, certes, à des phénomènes observables, mais, dans la réalité, les comportements ne sont exclusivement ni des instincts, ni des actes habituels, ni des actes intelligents : ils peuvent présenter des caractères appartenant à la fois à chacun des types. Ainsi, il n'y a peut-être pas d'acte qui soit, chez les animaux supérieurs, entièrement instinctif ou entièrement intelligent. La vieille formule de Pascal : « Instinct et Intelligence, marque de deux natures », est aujourd'hui reconnue fautive car, non seulement nous savons qu'il existe une intelligence animale, mais aussi parce que l'expérience montre qu'un même animal peut agir instinctivement et intelligemment, soit en des circonstances différentes, soit au cours d'un même comportement. C'est précisément la connaissance des principaux types de réactions ou d'actes dont sont capables les animaux qui nous permet d'analyser leurs comportements réels.

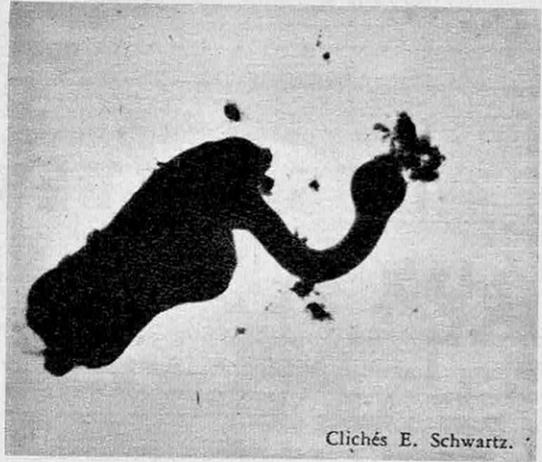
Mais le but d'une science n'est pas seulement de dresser une nomenclature des phénomènes généraux qu'elle étudie ; il est aussi de découvrir les lois de ces phénomènes, de pénétrer leur déterminisme et d'en donner, si faire se peut, des théories explicatives. Il faut avouer que, sur ces points, la psychologie animale est encore peu avancée. Nous commençons à connaître les caractères généraux des comportements, nous avons déjà découvert certaines de leurs lois, nous entrevoyons les

---

**Dans les zoo** les animaux ont vite fait d'apprendre à mendier des friandises. Leurs gestes de quête sont très caractéristiques et varient suivant les espèces. Celui de ce chimpanzé du zoo de Vincennes est accompagné d'une mimique si expressive que peu de visiteurs doivent lui résister.



**Comportement réflexe** chez une Planaire d'eau douce. Son pharynx, après avoir été détaché de son corps (à gauche), continue à ingurgiter



Clichés E. Schwartz.

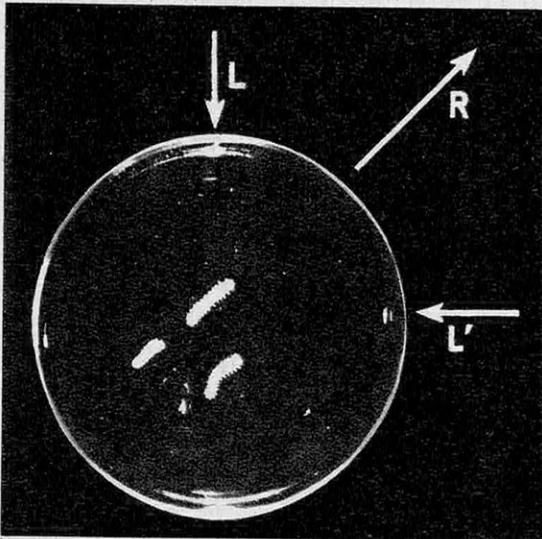
tout ce qu'il rencontre pendant les quelques heures qui lui restent à vivre (à droite), même si ce sont des morceaux de la Planaire dont il est issu.

grandes lignes du développement du psychisme vers l'homme, nous ne pouvons guère que faire des suppositions sur les rapports de l'évolution du psychisme et celle du système nerveux. Cependant, nous sommes en droit d'espérer que les recherches futures résoudront, sans doute, tous ces problèmes.

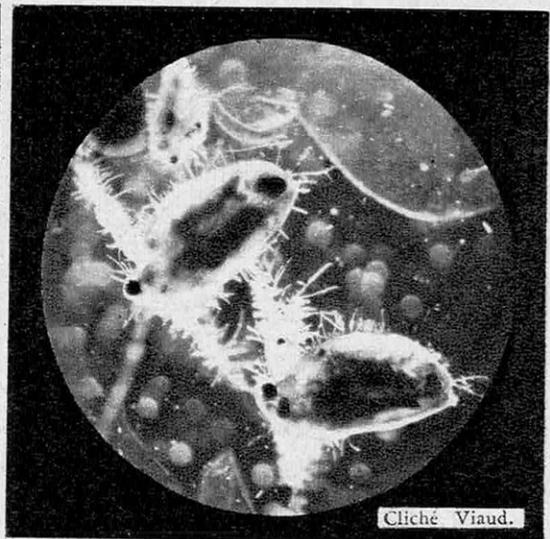
### Les réflexes

On groupe sous le nom de « réflexes » des réactions très différentes quant à leurs aspects extérieurs et leurs conditions physiologiques ; par exemple, les réactions d'arrêt et de pivotement des Paramécies (Infusoires ci-

liés), le réflexe pupillaire et le réflexe rotulien de l'homme. Les physiologistes qui les étudient sur des animaux supérieurs en donnent la définition suivante : « Ce sont des réactions de contraction de muscles ou de sécrétion de glandes, déclenchées par une excitation déterminée, et appliquée avec une intensité suffisante en un endroit plus ou moins localisé de la surface de la peau ou à un organe sensoriel. » Ainsi le réflexe rotulien est provoqué par une percussion exercée sous la rotule ; l'excitation, transmise par des voies sensibles à la moelle, en est aussitôt « réfléchie » (de là le terme « réflexe ») vers les voies motrices déclenchant la contraction des



**Réactions phototropiques** de chenilles du Bombyx de l'Ailanthé (à gauche) et de Daphnies ou puces d'eau douce (à droite). Les unes et les autres se dirigent vers la lumière, mais les

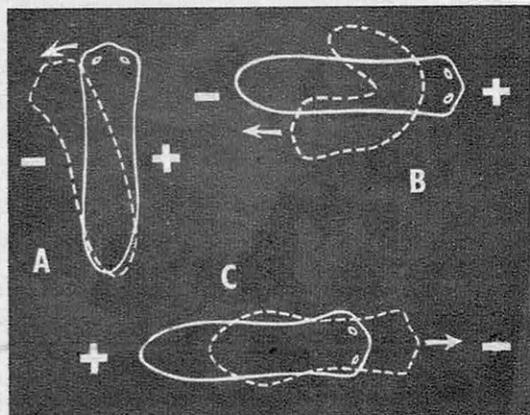


Cliché Viaud.

premières, lorsqu'elles reçoivent des rayons lumineux L et L' à angle droit, s'orientent dans la direction résultante R de façon que leurs photorécepteurs symétriques soient également excités.

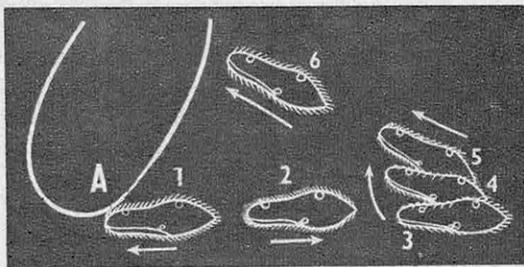
muscles qui relèvent la jambe. Sherrington a toutefois montré que ce schéma de l'arc réflexe est, dans bien des cas, beaucoup trop simple. Le réflexe de grattage du chien, causé par l'excitation de la peau des côtes, suppose la mise en jeu d'un grand nombre d'organes et la participation d'une grande partie de l'appareil moteur. En effet, un chien qui se gratte avec une patte de derrière, prend en même temps appui sur les trois autres pattes. Sherrington définit alors le réflexe comme une « unité fonctionnelle d'intégration du système nerveux », autrement dit, comme un acte élémentaire, dû à l'existence de voies sensitivo-motrices pré-établies, plus ou moins complexes.

Les zoopsychologues, considérant l'ensemble du règne animal depuis les animaux inférieurs, appellent réflexes différentes sortes de réponses automatiques à des excitations définies. Ces réponses peuvent se manifester même chez des animaux ne possédant pas de système nerveux (comme les Protozoaires) ; elles affectent le plus souvent des parties ou segments de l'organisme, mais parfois aussi



**Le galvanotropisme** cathodique de la planaire est très régulier. Elle conduit mieux le courant quand elle est dirigée dans le sens « homodrome » (tête vers la cathode, C) que dans le sens « antidrome » (tête vers l'anode, B). Spontanément, elle s'oriente toujours vers la cathode.

l'organisme tout entier. Il en est ainsi des réflexes des Paramécies en réponse à des excitations chimiques, des réflexes de défense de tous les animaux même les plus humbles, des réflexes d'agrippement à la suite d'un attouchement, des réflexes d'orientation provoqués par des excitations lumineuses, sonores ou mécaniques, l'animal tournant la tête ou le corps entier vers le lieu d'où vient l'excitation. Rabaud en donne un excellent exemple en faisant accourir une araignée vers le centre de sa toile, en touchant celle-ci avec un



**Réactions phobiques** ou réactions d'évitement d'une Paramecie arrivant au contact d'une goutte d'acide A, d'après H.-S. Jennings. Ces réactions sont une suite « d'essais et d'erreurs ».

diapason vibrant, stimulation analogue à celle que produit un insecte pris au piège (1). Les réflexes de retournement sont du même ordre : par exemple, si l'on appuie fortement sur la queue d'une torpille reposant sur le fond, celle-ci se retourne aussitôt en renversant sa tête et son corps en arrière. On utilise d'ailleurs ce réflexe pour pêcher la torpille au haveneau, car, touchée à la queue par cet instrument, elle vient, en se retournant, tomber dans le filet.

Un très curieux cas de comportement réflexe a été découvert en 1917, par Wulzen : c'est celui des pharynx de Planaires. Les Planaires d'eau douce, vers plats de ruisseaux et de mares, ont un pharynx qui peut sortir de la bouche. Si l'on isole ce pharynx d'un coup de scalpel, on le voit se mouvoir à la manière d'un ver entier. Quand il rencontre, chemin faisant, un morceau de viande, ou les morceaux de la planaire dont il est issu, il se met à les ingurgiter, à les broyer, et on voit sortir, au fur et à mesure, de son extrémité coupée, un tortillon fait des matières avalées et à demi digérées déjà par les sucs qu'il secrète. Cette réaction automatique dure tant que le pharynx reste en vie (deux heures environ) et tant qu'il y a de la nourriture à avaler. Le pharynx n'est jamais rassasié comme peut l'être la planaire entière, car son activité n'est contrôlée par aucun centre nerveux central : elle est seulement entretenue par des plexus nerveux existant dans le pharynx.

En somme, malgré leurs profondes différences d'aspect extérieur, les réflexes présentent des caractères communs : ce sont tous des automatismes déclenchés par des excita-

(1) Si l'excitation causée par le diapason est faible, l'araignée ne fait que lever une ou deux de ses pattes ; si elle est plus forte, toutes les pattes réagissent ; avec une excitation d'un degré plus élevé encore, on obtient la réaction de locomotion orientée décrite ci-dessus. Si l'on répète un assez grand nombre de fois l'excitation, l'araignée ne répond plus. Les réponses réflexes ne sont pas invariables, comme on le croit trop souvent.

tions déterminées, grâce à des dispositifs physiologiques préformés, et constituant des réactions élémentaires.

### Les tropismes

Depuis Jacques Loeb (1890), on entend sous le nom de tropismes des réactions plus ou moins complexes d'orientation et de locomotion d'organismes entiers, réactions causées et entretenues par des agents physiques. Par exemple, le phototropisme est une réaction de locomotion provoquée par de la lumière : positive lorsqu'elle est dirigée vers la source lumineuse, négative en sens inverse. La notion de tropisme a été empruntée par Loeb aux botanistes qui connaissent depuis longtemps les réactions d'orientation des plantes vers la lumière ou vers l'ombre. Les tropismes s'observent aisément chez un grand nombre d'animaux, surtout chez les animaux inférieurs : attraction des Moustiques et des Phalènes par les lampes ; fuite des Lombrics et des Punaises de lit devant la lumière ; reptation des Limaces vers le haut d'une paroi ; marche de Coccinelles sur un bâton vertical, de jeunes Rats sur un plan incliné (géotropisme ascensionnel), etc. Le galvanotropisme est obtenu au laboratoire, en soumettant des animaux aquatiques à l'action d'un courant électrique : les animaux vont vers la cathode, plus rarement vers l'anode. D'autres tropismes, qui ne paraissent pas être du même type que les précédents, sont causés par les variations de température du milieu (thermotropisme), de degré hygrométrique (hydrotropisme), par divers agents chimiques (chimiotropisme), etc.

La conception de Loeb a soulevé d'importants problèmes. Il pensait que les tropismes « positifs » (ou attractifs) étaient de même nature que les tropismes « négatifs » (ou répulsifs) et n'en différaient que par le sens. Il rapportait l'existence des uns et des autres à la structure symétrique bilatérale des organismes qu'il étudiait, déclarant que l'animal prend une position d'équilibre telle que les organes récepteurs symétriquement disposés sur les côtés de l'animal soient également excités. Enfin, il refusait aux tropismes tout caractère adaptif ou régulateur. L'animal, disait-il, ne recherche nullement une intensité déterminée (et favorable) de l'agent exciteur, il est seulement mû passivement par cet agent, comme les grains de limaille de fer s'orientent dans les lignes de force d'un champ magnétique (mouvements forcés).

Tous les points de cette conception célèbre ont provoqué de nombreuses et âpres discussions. Quel est aujourd'hui l'état de ce qu'on a appelé « la question des tropismes » ? Il me semble que nous pouvons répondre comme suit :

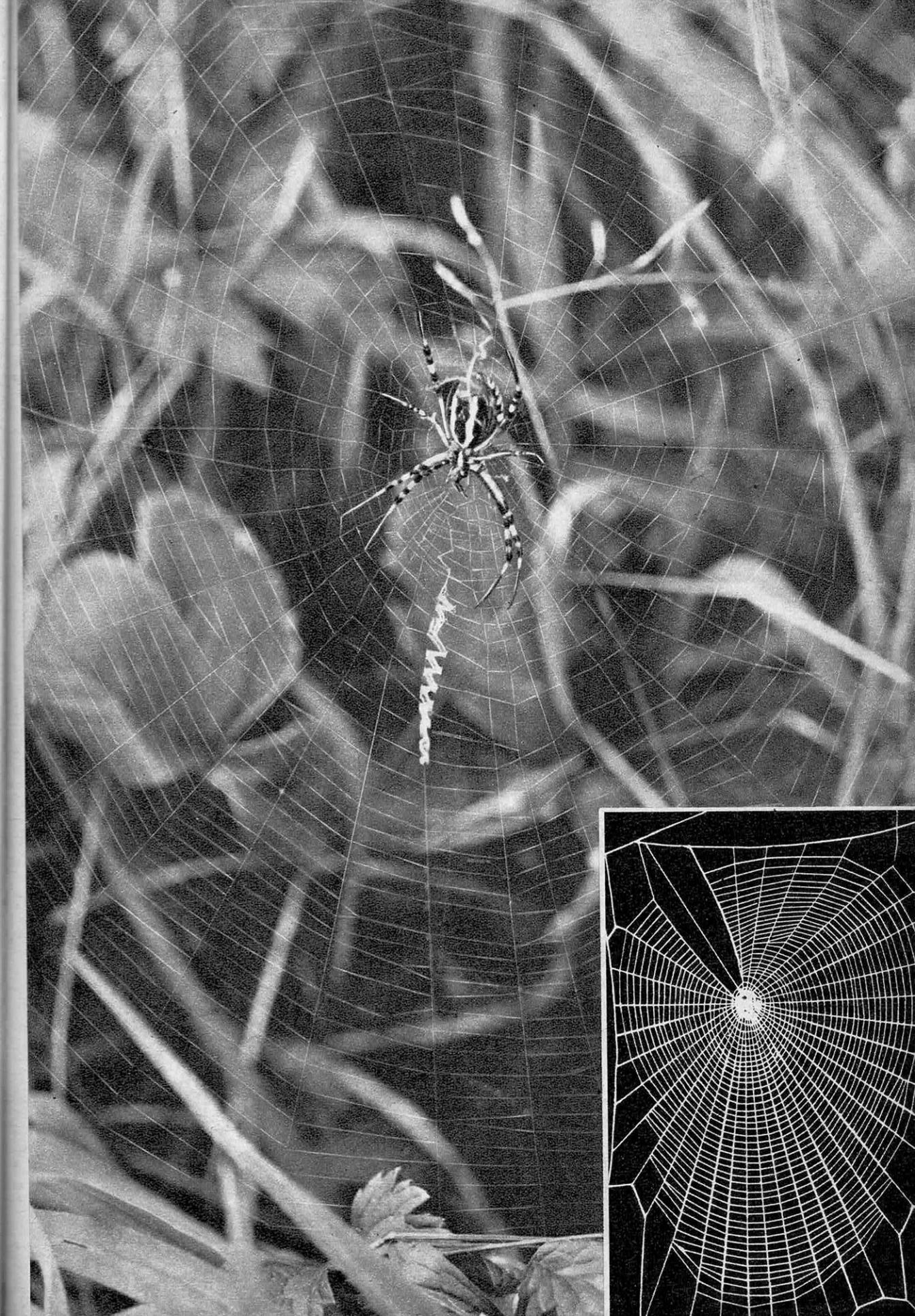
Les tropismes « positifs » sont d'un autre type que les tropismes « négatifs ». L'étude approfondie du phototropisme des Daphnies le montre clairement. Il se compose de phases périodiques positives et négatives. Pendant les phases positives, l'animal va vers la lumière avec une vitesse qui varie avec l'intensité lumineuse ; pendant les phases négatives, il fuit la lumière avec une vitesse qui ne dépend pratiquement plus de l'intensité. L'essentiel pour l'animal, pendant ces dernières phases,

**Les toiles d'araignées** sont très différentes. Chacune obéit à un « schème-moteur » très particulier. Ci-contre à droite celle d'une Argiope et, dans l'angle en bas, celle d'une Zilla. Ci-des-

sous la tanière d'une Mygale. On remarquera notamment les deux secteurs libres de fils de spire de la Zilla, et le système de tension (situé au-dessous d'elle) que l'Argiope utilise pour sa toile.

Clichés Le Charles et P. N. Witt.





est de mettre ses organes visuels le plus possible à l'abri de la lumière. L'alternance régulière des phases positives et négatives est réglée par ce que nous avons nommé la « capacité photopathique » de l'animal, c'est-à-dire son pouvoir de supporter l'excitation lumineuse : si celle-ci est forte, ou si l'animal supporte mal la lumière, les phases négatives sont de plus longue durée que les phases positives : l'inverse a lieu si la lumière est faible ou si l'animal supporte bien la lumière. Bref, pendant les phases positives, l'animal va impulsivement vers la lumière dès qu'il le peut, aussi longtemps qu'il le peut et avec une vitesse qui dépend de l'intensité lumineuse ; pendant les phases négatives, l'animal se préoccupe surtout d'échapper le plus possible à l'excitation lumineuse ; ce sont des phases de repos ou de régénération des substances photosensibles de ses organes visuels. Le caractère impulsif des phases positives rappelle assez bien les « mouvements forcés » de Loeb ; nous disons que ce sont des « tropismes vrais ». Les phases négatives ne sont pas du tout l'image inverse des phases positives ; certains auteurs les appellent des « pseudotropismes » ; nous préférons le terme « pathies » désignant les réactions qui dépendent de la manière dont l'animal souffre ou supporte l'excitant.

Quelle est la base physiologique de cette impulsion primitive qui consiste à aller vers la lumière ? Loeb attribuait les tropismes à des réflexes d'orientation et à la symétrie bila-

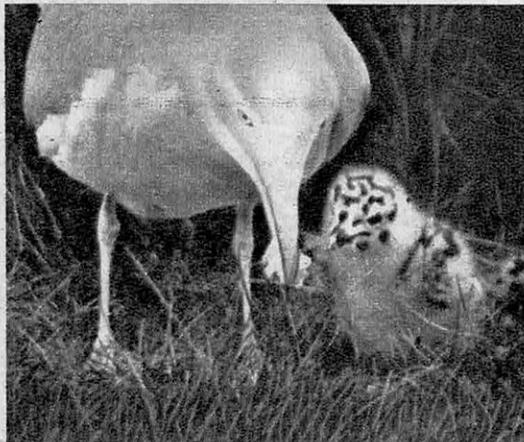
térale des organismes. Mais tous les animaux qui manifestent des tropismes n'ont pas de symétrie bilatérale ; d'autres, comme les crabes, qui ont une symétrie bilatérale, se déplacent vers la lumière à angle droit de leur axe longitudinal. Les idées de Loeb ne s'appliquent donc pas à l'ensemble des faits. Georges Bohn a émis l'hypothèse que les tropismes seraient des « mouvements polarisés » dus à la polarisation propre des organismes, notion plus générale que celle de symétrie bilatérale.

### La loi du maximum d'excitation

Nous avons soumis cette hypothèse à l'expérience. Les Planaires nous ont fourni pour cela un excellent matériel biologique, car leur polarité est bien connue ; de plus, elles présentent un galvanotropisme cathodique très régulier. L'étude des propriétés électriques de leur corps nous a montré que leurs tissus conduisent mieux le courant électrique dans le sens « homodrome » (cathode appliquée à leur tête) que dans le sens « antidrome » (anode appliquée à leur tête). Corrélativement, elles sont plus facilement excitées par le passage du courant dans le premier sens que dans le second. Comme elles s'orientent et se déplacent toujours vers la cathode lorsque l'on fait passer un courant dans la cuve à eau où elles se trouvent, il s'ensuit que leur galvanotropisme répond à une recherche du maximum d'excitation.

Le galvanotropisme cathodique obéit donc à une loi de « maximum d'excitation ». Or,

**Le comportement instinctif** de la becquée chez la mouette argentée est déclenché par le poussin, lorsque ce dernier vient frapper l'extrémité du bec de son parent. L'attrape utilisée à droite montre que, pour le poussin, seule importe la couleur jaunée du bec et la tache rouge située à l'extrémité de la mandibule inférieure. Il ne fait attention ni à la présence de son parent, ni à la forme de son corps ou de sa tête.



Clichés Tinbergen.

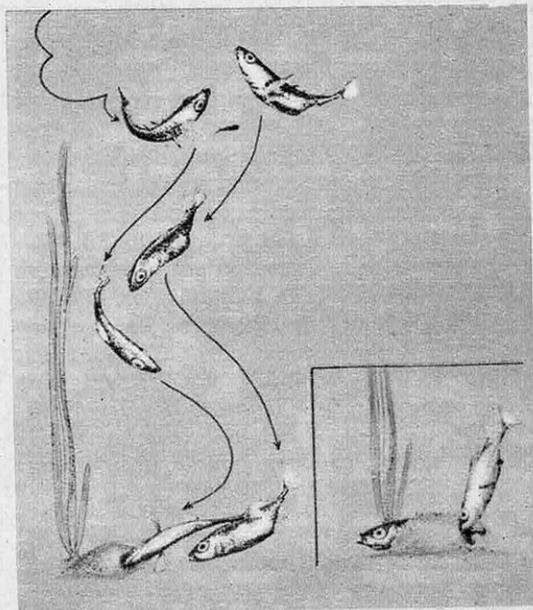
il semble bien que ce soit la loi générale des « tropismes vrais ». Pourquoi l'animal, quand il peut supporter la lumière va-t-il vers sa source ? Parce qu'il obéit à la loi du maximum d'excitation. Pourquoi va-t-il vers le haut d'un plan incliné ? Parce que sa sensibilité musculaire est plus excitée quand il grimpe que quand il descend. Il y a déjà longtemps que Crozier et ses collaborateurs ont établi que si l'on augmente le poids d'un animal, par exemple si on attache des poids à un Rat, il grimpe plus vite sur le plan incliné, son trajet est plus voisin de la verticale.

Comme nous l'avons vu, tous les tropismes comportant des phases successives positives et négatives, comme le phototropisme, ont un

valeurs s'échelonnent, suivant les animaux, entre 0° (Planaires alpines) et 40° C (Chauvessouris). L'adaptation des animaux à une certaine température déplace leur thermopreferendum dans le sens de la température d'adaptation. Dans leurs réactions aux variations de température du milieu, tous les animaux, semble-t-il, recherchent les conditions les plus voisines de leur preferendum. Mais chez les animaux inférieurs, cette recherche est simplement un évitement des conditions qui ne correspondent pas à l'optimum ; chez les animaux supérieurs seuls la recherche peut être dite positive, ces animaux se guidant sur les différences de températures pour trouver la température qu'ils préfèrent.



**Le comportement sexuel** de l'épinoche à trois épines obéit à un ensemble de « stimuli signes » formant des « schèmes perceptifs ». A gauche, le mâle réagit à sa propre image vue dans un miroir comme il réagirait à la vue d'un autre



poisson de son espèce : il se tient verticalement la tête pointée vers le fond. Lorsqu'il se trouve devant une femelle qui lui présente son ventre, à droite, il commence une danse en zigzag, l'entraîne vers le nid qu'il a préparé et l'y pousse.

caractère adaptatif qui leur vient de leurs phases négatives ou « pathies ». Ce caractère s'accroît encore dans le « thermotropisme » ou réponse aux variations de température. K. Herter les a étudiées avec un appareil qu'il a appelé « orgue à température », consistant en un support métallique dont on chauffe une extrémité en refroidissant l'autre. Les animaux (insectes, par exemple), déposés sur ce support, tendent à fréquenter une certaine zone, à s'y cantonner et souvent à s'y mettre au repos : c'est la zone de leur température de prédilection ou « *thermopreferendum* ». De nombreuses expériences ont montré que le preferendum est un caractère spécifique. Les

D'autres comportements, comme l'hydrotropisme, présentent les mêmes caractères : ils dépendent de l'existence d'un degré d'humidité optimum, variable avec les espèces. Tous sont faits de réactions négatives par lesquelles les animaux cherchent à se mettre à l'abri de conditions défavorables et à réduire au minimum les excitations gênantes. Ce sont donc des « pathies », analogues à celles du phototropisme négatif. L'intensité de ces réactions est d'autant plus grande que l'excitation est produite par des conditions plus éloignées du preferendum.

Les chimiotropismes, qui peuvent toutefois comprendre des tropismes positifs ou attrac-

tions impulsives véritables, sont souvent composés exclusivement de réactions négatives. C'est ainsi que les chimiotropismes des Paramécies se réduisent en une succession de progressions dirigées au hasard, mais bloquées par des réactions d'évitement lorsque les animaux entrent en contact avec des substances désagréables ou nocives. Jennings a donné à ces tâtonnements, à la suite desquels l'animal inférieur réussit à trouver les conditions qui lui conviennent le mieux, le nom général de *méthode des essais et erreurs*. Nous reviendrons plus loin sur cette notion très importante de la psychologie animale.

En résumé, nous voyons qu'il existe deux grandes classes de comportements des animaux en réponse aux excitations des agents physiques : des comportements comme le phototropisme, faits de tropismes vrais et de « pathies », que nous appelons *comportements à maximum*, et des comportements comme le thermotropisme, exclusivement faits de pathies, les *comportements à preferendum*.

Les animaux inférieurs ne manifestent guère que des comportements appartenant à ces deux classes. C'est qu'ils vivent dans un monde où ils ne connaissent ou ne perçoivent ni objets, ni signes. Leur monde n'est fait que d'agents physiques ou chimiques. La vie journalière des Paramécies dans une mare est, comme l'a dit Jennings, uniquement faite d'une succession de réactions à des agents variés, qui les mènent deci-delà dans les régions de leur milieu qui leur sont le plus favorables, ou le moins défavorables.

## Les instincts

Quittons maintenant le psychisme inférieur et arrivons aux instincts. On groupe dans cette vaste rubrique des comportements innés, spécifiques, automatiques, immuables, formés d'actes plus ou moins nombreux et compliqués, se déroulant de manière généralement irréversible et permettant aux animaux d'accomplir, sans qu'ils en aient nécessairement conscience, leurs tâches vitales : alimentation, reproduction et vie en société. C'est chez les Insectes (et d'autres Arthropodes) et chez les Oiseaux que les comportements instinctifs se sont développés au maximum. Les naturalistes se sont appliqués depuis longtemps à en décrire de magnifiques exemples et ont cru pouvoir les comparer aux actes de l'intelligence humaine (les « merveilles de l'instinct », disait Fabre). Certes, il est permis d'admirer la construction des spires de la toile d'une Araignée Orbitèle. Mais admirer n'est pas comprendre, et les descriptions des anciens naturalistes ont souvent faussé les problèmes, bien que leur apport soit loin d'être négli-

**L'allaitement** chez les mammifères, ici chez l'Ourse, est un comportement typique qui prend l'apparence de mouvements délibérés et réfléchis, adaptés à un but. Mais c'est essentiellement une manifestation de l'instinct maternel lié, comme tous les instincts, à des facteurs physiologiques (facteurs endocriniens provoquant la lactation) et à des excitations extérieures (solicitation des jeunes). Ce comportement disparaîtra avec les facteurs qui lui ont donné naissance et la mère pourra même devenir hostile à sa progéniture.

---

geable, grâce à la précision de leurs observations.

Pour y voir clair, commençons par nous demander quels sont les rapports des instincts avec les réflexes et les tropismes, qui sont aussi des automatismes, mais plus simples. Certains auteurs, comme Georges Bohn et Etienne Rabaud, ont pensé que les actes instinctifs se résumaient en une chaîne de réflexes et de tropismes déclenchés par des agents physiques, à peu près toujours dans le même ordre, parce que les conditions naturelles se reproduisent suivant un ordre relativement constant dans les milieux où vivent les espèces animales. A leur suite, Tilquin a consacré la majeure partie de son activité scientifique à étudier la construction de la toile des Araignées. Il s'est ingénié à démontrer qu'elle obéit à un déterminisme relativement simple dans lequel on trouve : des besoins (besoin de filer de la soie et de vivre entourée de fils de soie) ; des tropismes (phototropisme positif et géotropisme ascensionnel qui font poser à l'Araignée ses premiers fils aux extrémités de supports verticaux, de branches, etc.) ; des réflexes, réflexe de pivotement qui fait se retourner l'Araignée parvenue aux bords de son cadre à la fin de la pose de sa spirale « provisoire » et la fait rebrousser chemin pour poser, en sens inverse, sa spirale « définitive » ou caprice, faite de fils gluants. Ainsi, Tilquin pense démontrer que ce comportement instinctif se décompose en une série de réactions élémentaires, réflexes et tropismes, les unes déclenchées par des excitants du milieu naturel, les autres par la situation stimulante créée par les résultats des réactions précédentes de l'animal, ici par les fils déjà posés. Tilquin avoue cependant que la structure générale des toiles orbiculaires ne peut venir que de facteurs internes. On ne voit pas quels agents du milieu extérieur, physiques ou chimiques, pourraient obliger certaines Araignées à construire des fils rayonnés et spirales.

C'est là toute la question. Il est facile de mettre en évidence le rôle de réflexes et de tropismes dans la confection de la toile d'une Araignée, mais celle-ci n'est pas faite que de



ces réactions partielles. Au-dessus d'elles, il y a une sorte de « schème moteur » qui dirige la construction et qui fait que la toile d'une Zilla, par exemple, n'est pas celle d'une Epeire. Ce schème moteur est essentiel. Il « résiste » d'une manière extraordinaire à l'action de circonstances défavorables. En effet, si on oblige une Araignée à tisser sa toile sur un cadre horizontal, les axes de la spire n'auront pas les mêmes longueurs relatives que dans le cas normal d'un cadre vertical, mais la forme générale et la plupart des caractères spécifiques subsisteront. Mieux encore : en « énuvrant » des Zilla avec un alcaloïde, P. N. Witt a pu, en 1952, faire tisser à ces Araignées des toiles beaucoup plus régulières ; tout se passe comme si les animaux avaient été soustraits en partie aux influences extérieures.

Les instincts obéissent donc à un déterminisme interne bien plus compliqué que celui des réflexes et des tropismes. Les facteurs internes dominent ici les facteurs externes ; ces derniers ne font guère que déclencher, diriger tout au plus, l'exécution d'opérations qui s'accomplissent dans un ordre défini, selon le schème moteur de l'espèce.

### Les stimuli-signes

Une autre caractéristique essentielle des instincts, c'est qu'ils sont des *réactions perceptives* ou réactions déclenchées par des *stimuli-signes*. L'excitant agit ici comme un « signe », comme un événement interprété et reconnu par le sujet. L'intensité de la stimulation n'a plus qu'une valeur secondaire, sa qualité, au contraire, devient primordiale : elle signifie la possibilité de satisfaire une tendance. Par exemple, l'odeur de la nourriture, odeur parfois très faible, est le signe de l'apaisement

possible de la faim. Les stimuli qui déclenchent des réflexes ou des tropismes sont au contraire des *stimuli-agents* : ils agissent sur l'organisme par leur intensité, leurs qualités ne sont pas reconnues comme signes.

Pour mieux faire comprendre cette différence entre stimuli-agents et stimuli-signes, faisons appel à la psychologie humaine. Le phare d'une auto qui éblouit le conducteur d'une voiture venant en sens inverse joue le rôle de stimulus-agent en déclenchant des réflexes gênants, voire dangereux, et même du phototropisme : le conducteur de la seconde voiture a tendance à aller se jeter sur la première qui l'aveugle. Un phare en mer est, au contraire, un guide pour le navigateur, un signe qui indique la présence d'un écueil ou l'existence d'une passe.

La différence entre les réponses aux stimuli-agents et les réponses aux stimuli-signes est capitale en psychologie.

Que les comportements instinctifs soient dus à des réactions perceptives, rien ne le montre mieux que les exemples donnés récemment par N. Tinbergen dans son livre sur la Mouette argentée. Dès qu'il sent la faim, le poussin de cette Mouette, nouvellement éclos, lui frappe l'extrémité du bec avec son bec ; la Mouette dégorge alors de la nourriture (poissons précédemment ingurgités), en choisit un morceau et le présente à son petit qui l'avale. Les patientes expériences de Tinbergen ont prouvé que le poussin ne fait attention ni à la présence du parent, ni à sa forme, ni même à la forme de sa tête ou à celle de son bec, mais seulement à la couleur jaune de ce dernier et surtout à la tache rouge de l'extrémité de la mandibule inférieure. Des « attrapes » ne sont vraiment efficaces, pour déclencher la réaction du jeune poussin, que si elles ont cette tache rouge : le reste (forme, dimen-

sions) importe peu. En employant des tiges de bois peintes, Tinbergen a même réalisé des « attrapes » qui donnent de meilleurs résultats que des têtes de mouettes naturalisées. Cette technique des attrapes est de première importance pour l'analyse des réactions perceptives. Elle permet de savoir ce que voit réellement l'animal.

Les stimuli-signes auxquels répondent les animaux dans leurs comportements instinctifs peuvent ne pas être simples. Ils forment souvent des combinaisons, que l'on appelle des *schèmes perceptifs*. Tinbergen, dans ses études sur le comportement sexuel de l'Épinoche à trois épines, a prouvé que le mâle de cette espèce est reconnu par ses congénères, mâles ou femelles, non seulement par la coloration rouge de son ventre, mais encore par son attitude particulière : dès qu'il voit un autre poisson de son espèce, il se tient verticalement, la tête pointée vers le fond. Deux mâles se rencontrant prennent la même attitude et il en résulte des poursuites ou des combats. Quant à la femelle, elle est reconnue à son ventre blanc et gonflé d'œufs, à son attitude inclinée, tête vers le haut, ventre en avant. La reconnaissance d'une femelle par un mâle donne lieu à des danses, à des réactions réciproques, alternant suivant un ordre fixé, puis à la conduite de la femelle au nid que le mâle a construit et où il fécondera les œufs que la femelle va y pondre.

### La « motivation », moteur essentiel

Mais ce n'est pas tout. Pour qu'un individu d'une espèce donnée réagisse à un schème perceptif, encore faut-il qu'il soit dans une disposition affective favorable, conséquence d'un état physiologique déterminé : le poussin de la Mouette va becqueter le bec de son parent parce qu'il a faim ; le mâle de l'Épinoche émigre, au printemps, des eaux saumâtres vers les eaux douces et peu profondes, y construit son nid, chasse les autres mâles, courtise les femelles, parce qu'il est dans un état d'excitation sexuelle causé par la maturité de ses gonades. Un facteur endogène doit donc être ajouté aux autres facteurs internes du déterminisme de l'instinct : la *motivation*, premier moteur de l'ensemble du comportement. Sans motivation (faim, excitation sexuelle, besoin de filer de la soie chez l'Araignée, etc.), les stimuli spécifiques sont quasi-inopérants.

K. Lorenz qui, avec N. Tinbergen, a le plus contribué à rénover nos conceptions sur l'instinct au cours de ces dernières décades, a montré que le déclenchement d'un comportement instinctif est lié aux rapports d'intensité de la motivation et du stimulus-signé. Si la motivation est faible, il faudra une stimula-

tion forte ou répétée pour amener la réaction. Au contraire, si la motivation est très forte, la moindre stimulation suffira. On voit même des cas où la motivation est si intense qu'elle déclenche seule le mécanisme. C'est le cas des « activités vides » ou sans objet : l'animal satisfait sa tendance comme il peut. Il y a en somme un rapport inverse entre la force de la motivation et celle de la stimulation nécessaires pour provoquer une réponse. Ce double déterminisme rend bien compte des caractères des réactions instinctives.

Ces réactions forment, dans le comportement instinctif pris dans son ensemble, un véritable « système hiérarchique », nous dit Tinbergen. Elles apparaissent en effet dans un ordre immuable qui va du général au spécial. Il y a une sorte de « logique de l'instinct ». La motivation générale détermine d'abord le comportement de recherche ; dès que les stimuli adéquats ont été trouvés, l'animal change de comportement sous l'influence d'une disposition nouvelle et accomplit un nouvel acte, et ainsi de suite jusqu'aux actes finaux. Ainsi, dans l'instinct reproducteur de l'Épinoche, il y a d'abord une recherche du lieu de nidification convenable, puis, suivant les stimuli qui se présentent, la nidification, la parade, les soins aux œufs, ou le combat avec un autre mâle ; dans ce dernier cas, les actes, qui dépendront de nouveaux stimuli, pourront être : menaces, poursuite ou fuite, etc.

Telles sont, dans leurs grandes lignes, nos connaissances psychologiques actuelles sur les comportements instinctifs. Contrairement à ce que beaucoup de savants pensaient il y a seulement vingt ans, et en opposition avec les idées de Fabre, le déterminisme de ces comportements est surtout interne. Les excitations externes n'y jouent qu'un rôle déclencheur, directeur et, à l'occasion, inhibiteur. Mais les réactions réflexes ou les tropismes ne sont pas réellement constitutives de l'instinct.

Maintenant, que connaissons-nous des conditions physiologiques de ce déterminisme endogène ? Ce serait un chapitre très long à écrire et qui déborderait le cadre de cet article. Bornons-nous à indiquer que les biologistes et les physiologistes ont poussé cette étude en ce qui concerne la motivation ; grâce à leurs efforts, nous connaissons assez bien aujourd'hui les mécanismes physiologiques des besoins (faim, soif), les facteurs endocriniens de l'instinct sexuel (dans ses diverses formes : nidification, parade, copulation) et de l'instinct maternel chez les Oiseaux et les Mammifères (lactation, allaitement). Dans certains cas particuliers, nous entrevoyons les causes internes des migrations, de reproduction des Oiseaux et des Poissons ; par exemple, on peut déterminer la migration des Épi-

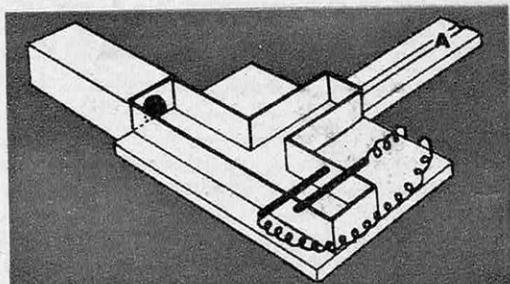
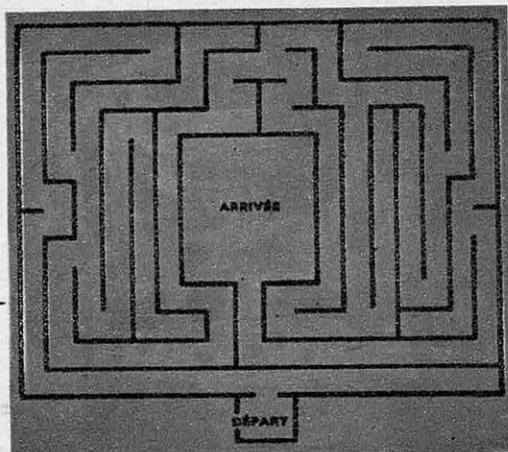
**L'apprentissage** a été étudié de manière très diverse chez les animaux. En haut, labyrinthe dit de Hampton Court utilisé, par Small, avec des Rats. On remarquera le grand nombre d'impasses; la boîte d'arrivée, au centre, contenait de la nourriture. En bas, un appareil conçu par Yerkes pour les vers de terre. L'animal qui recherche l'obscurité est placé en A. Arrivé à la jonction, il reçoit une décharge électrique s'il tourne à gauche et trouve un refuge sombre s'il prend à droite. En général, au bout de 150 essais, il tourne à droite.

noches vers l'eau douce en injectant à des individus immatures de l'hormone thyroïdienne. Mais nous ignorons à peu près tout des conditions physiologiques des actes consommatoires, des centres nerveux qui les commandent et les contrôlent.

### Les comportements acquis

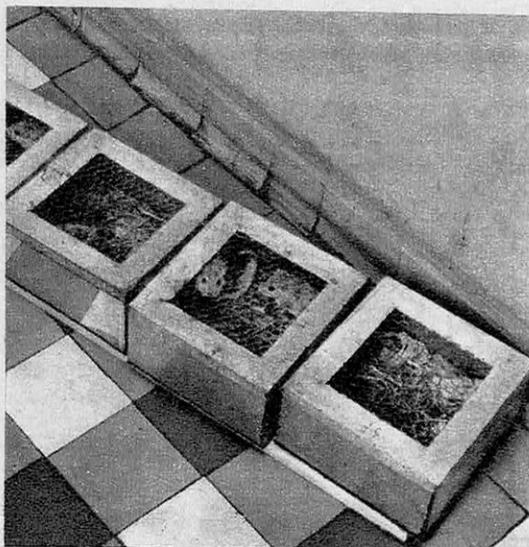
Les animaux, à partir des Vers au moins, ne présentent pas seulement des réactions innées (tropismes ou instincts) mais encore des *comportements acquis*; c'est dire qu'ils ont une mémoire et peuvent contracter des habitudes. Il est possible que des formes d'apprentissage très frustes se manifestent déjà chez les êtres monocellulaires (Protistes). Ainsi Dembowski a montré que les *Paramecies* s'habituent à faire des trajets assez réguliers en épousant les contours des cuves à eau où on les place. S. Tchakhotine a fait dévier de tels circuits en projetant des rayons ultraviolets sur une région de la cuve; supprimant ensuite ces rayons, il a observé que les *Paramecies* continuaient à éviter la région précédemment irradiée. Mais de telles habitudes durent fort peu (une demi-heure tout au plus). Au contraire, les *rythmes acquis* que l'on observe chez des Vers, les Planaires marines, persistent longtemps après que les conditions qui leur ont donné naissance n'existent plus. Ainsi, les Planaires *Convoluta* sortent du sable à marée descendante et y rentrent à marée montante pour se soustraire au choc des vagues. Or ces mouvements périodiques subsistent plusieurs semaines en aquarium, alors qu'il n'y a ni flux ni reflux.

La *mémoire topographique*, observable dans le retour au nid, est très développée chez beaucoup d'animaux, même chez les animaux inférieurs. Ainsi, les Patelles, qui se fixent sur les parois des rochers battus par les vagues, et qui, à marée basse, quittent leur emplacement pour aller brouter des algues, savent retrouver la place exacte où elles ont élu domicile et qu'elles ont marquée en creusant légèrement le rocher. Fabre avait montré autrefois que des Guêpes prédatrices savent fort bien retrouver le nid qu'elles ont creusé et qui est

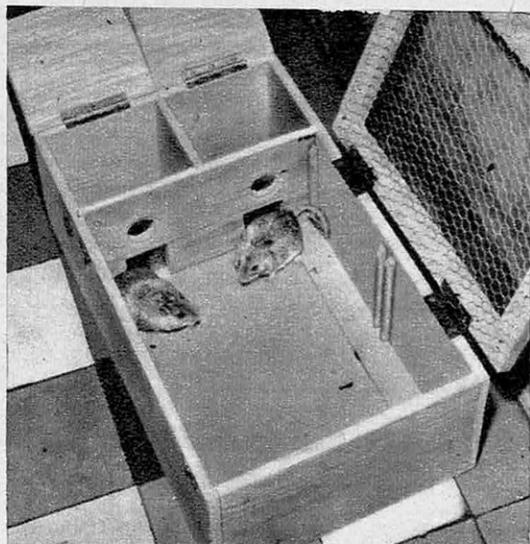


à peu près imperceptible pour l'observateur au milieu des accidents du terrain environnant. Baerends, récemment, a étudié expérimentalement le retour au nid d'une autre Guêpe, le Loup des abeilles. Après quelques vols d'exploration au-dessus de son nid, cet insecte conserve le souvenir des objets qui l'entourent (par exemple, des pommes de pin disposées en couronne par l'auteur) et, grâce à ce souvenir, reconnaît l'emplacement.

A la mémoire proprement topographique s'ajoute, chez un grand nombre d'animaux (Insectes, Oiseaux), l'orientation d'après le soleil. R. Brun l'a prouvée chez les Fourmis, en les déroutant par une séquestration de quelques heures sous une boîte opaque: libérées, elles tentent de retourner à leur fourmilière en suivant les rayons solaires qui les guidaient à l'aller, mais comme le Soleil a tourné d'un certain angle pendant leur séquestration, elles se trompent du même angle et sont désorientées. Depuis les recherches de K. von Frisch, dont quelques-unes sont toutes récentes, nous savons que les Abeilles se guident aussi sur les rayons solaires et même sur le plan de polarisation de la lumière du ciel bleu pour aller butiner sur les fleurs et revenir à la ruche; mieux encore, elles tiennent compte de l'heure, c'est-à-dire des déplacements du soleil dans le ciel (ce que font aussi les Oiseaux), et transmettent des renseignements sur leurs trajets, de butineuse à buti-



**Une étude de comportement** est en cours à Vincennes avec des rats Mériours, rats sauvages d'Afrique. A gauche l'élevage de rats. A droite, la boîte qui servira aux expériences : les deux petites cases, munies de voyants de couleurs différentes rose et verte, sont séparées de la cage principale par des trappes à ressort. L'expérience consistera à récompenser par une friandise les rats



qui entreront dans la case au voyant vert; ceux qui pénétreront dans l'autre, seront punis par une décharge électrique, une lumière aveuglante et un coup de klaxon. L'étude portera sur 2 lignées de rats. Pour la première, les petits assisteront aux expériences des parents, tandis que ceux de la seconde les ignoreront. Au cours des générations on notera le nombre d'erreurs qui seront commises.

neuse, par le moyen d'une sorte de langage par gestes (les fameuses « danses »).

La *mémoire ou la reconnaissance des congénères* peut être très précise et très fidèle, tout au moins dès que l'on a affaire aux Oiseaux. Tinbergen, dans son ouvrage déjà cité sur la Mouette argentée, nous dit que les parents reconnaissent leurs poussins à partir de la première semaine et ne les confondent plus ensuite avec les autres jeunes, qu'ils chassent impitoyablement. Une femelle de Mouette reconnaît son mâle à une cinquantaine de mètres de distance, au milieu d'autres mâles, ce dont Tinbergen lui-même se déclare incapable. Elle le reconnaît aussi à son cri et lève la tête quand il passe en volant au-dessus du nid sur lequel elle couve; tout autre mâle la laisse indifférente. Ainsi, non seulement les animaux se reconnaissent comme congénères à certains signes perceptifs innés, mais encore se reconnaissent individuellement à des signes appris et remémorés, signes parfois d'une grande finesse et que les observateurs ont bien du mal à discerner. Aussi cette question a-t-elle été à peine abordée jusqu'à présent.

Certains comportements semblent acquis par les animaux à la suite d'une seule expérience, décisive. Il en est de même pour l'enfant humain qui, après s'être brûlé une fois, évitera toujours le feu. De telles acquisitions, qui sont comme des empreintes indélébiles, sont en réalité la manifestation d'ins-

tincts. C'est ce qui se produit à la première manifestation de l'instinct sexuel lorsque l'animal, arrivant vers l'époque de sa maturité, découvre un partenaire sexuel, ou même un objet quelconque qui lui ressemble vaguement par certains aspects. Autre exemple : le premier être vivant que voit un poussin ou un caneton après l'éclosion, est suivi par le jeune animal et continue de l'être, que cet être soit son parent, ou un autre animal ou même un homme. Spalding avait autrefois observé ce fait chez des Poulets. Les « petits Canards de Lorenz » faisaient de même; ils ont été filmés et leur cas est bien connu.

### Les réflexes conditionnés

Mais les animaux sont capables aussi d'acquérir par expériences ou par actions répétées, des habitudes moins en rapport avec leurs dispositions instinctives. C'est surtout l'acquisition de ces habitudes par « conditionnement », ou apprentissage, et par dressage, qui a fait l'objet d'études expérimentales. Ces travaux se sont extraordinairement développés depuis le début de ce siècle, à cause de leur importance pour la psychologie et la physiologie. Tout le monde connaît les célèbres recherches de Pavlov sur les *réflexes conditionnés* chez le chien. On appelle réflexe conditionné (ou conditionnel) une réaction qui, au lieu d'être déclenchée par son stimulus normal ou inné (« stimulus inconditionné »), l'est par

un autre (« stimulus conditionné ») à la suite d'une association qui s'est établie entre les deux stimuli, présentés successivement à l'animal au cours d'expériences répétées.

Ainsi, le réflexe salivaire déclenché normalement chez le chien à la gustation d'une nourriture, finit par l'être à l'audition d'une cloche, si ce dernier stimulus est souvent présenté à l'animal avant le premier. Le bruit de la cloche (stimulus conditionné) devient alors le signe de l'octroi de la nourriture (stimulus inconditionné). Nous nous bornerons ici à signaler ces expériences, qui sortent à proprement parler du cadre de la psychologie animale : elles portent sur des comportements simples que les physiologistes provoquent dans des circonstances artificielles — il faut qu'elles le soient pour être rigoureusement définies — dans le but d'étudier les mécanismes élémentaires de l'acquisition des habitudes.

L'apprentissage complexe a été principalement étudié chez les Rats, au moyen de « labyrinthes ». C'est Small (1901) qui eut le premier l'idée de ce genre d'expérimentation ; il construisit un labyrinthe pour rats sur le modèle du labyrinthe des jardins du Hampton Court Palace de Londres, qui est fort compliqué, et lui adjoignit une boîte de départ et une boîte d'arrivée dans laquelle il mettait de la nourriture. Le rat affamé apprenait peu à peu le parcours correct pour arriver à la nourriture, c'est-à-dire à éviter les impasses. Les courbes d'élimination des erreurs, ou de diminution de temps de parcours en fonction du nombre des essais, traduisent la rapidité de l'acquisition des habitudes : elles ont une forme quasi-hyperbolique caractéristique. Small eut la surprise de voir que certains rats parvenaient à apprendre le labyrinthe de Hampton Court à peu près aussi vite que des hommes : un rat le maîtrisa en sept essais.

L'apprentissage des labyrinthes a été étudié expérimentalement sur les animaux les plus divers, depuis les Lombrics (Vers de terre) jusqu'aux Mammifères supérieurs, en passant par les Insectes (Fourmis, Blattes). Les courbes d'apprentissage présentent toujours la même forme générale, mais elles peuvent avoir des pentes très différentes suivant les animaux, suivant aussi la difficulté des labyrinthes qu'on leur fait apprendre. Des animaux inférieurs, comme les Lombrics, ne peuvent apprendre que des labyrinthes simples en T, à une impasse : ou bien l'animal se trompe et va vers l'impasse, dans laquelle il reste exposé à la lumière et rencontre des conditions défavorables (choc électrique, par exemple), ou bien il prend la bonne voie et y trouve des conditions favorables (abri contre la lumière). Cet apprentissage se fait par essais et erreurs.

Les animaux supérieurs, comme les Rats, apprennent à parcourir un labyrinthe de toute autre manière. Même quand ils ne sont pas affamés, simplement mus par leur curiosité native, ils explorent tous les recoins du labyrinthe, s'en font une représentation d'ensemble qu'ils utilisent lorsque, affamés, il leur faut trouver la sortie et la boîte à nourriture par le plus court chemin. Si on modifie le labyrinthe entre deux expériences en bouchant certaines voies et en ouvrant certaines impasses, ils trouvent sans peine et très rapidement le bon chemin. Bref, ils se comportent comme des hommes qui apprennent à se diriger dans les rues d'une ville. A la mémoire vient ici se mêler l'intelligence.

Il reste toutefois une différence intéressante à signaler entre les animaux et l'homme dans les phénomènes d'apprentissage : l'homme réussit bien à apprendre ce qu'on appelle des *labyrinthes temporels*, c'est-à-dire des alternances de trajets tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé ; par exemple, trois circuits en tournant à gauche, trois en tournant à droite, etc. Les animaux échouent en général dans ces épreuves, à moins qu'elles ne soient extrêmement simples. Nous touchons ici à une des limites du psychisme animal ; il est beaucoup plus difficile de se représenter des relations temporelles que des relations spatiales.

### Les actes intelligents

Ces dernières remarques nous conduisent directement à examiner les *actes intelligents*. Qu'est-ce que l'intelligence ? Ce mot, semble-t-il, a deux sens : au sens large, il signifie capacité de choisir ce qui est favorable ou utile, éviter ce qui est défavorable ou nuisible. Au sens restreint, il signifie invention de moyens ou d'actes pour sortir de difficultés, pour résoudre des problèmes. Si nous employons le mot intelligence au sens large, tous les animaux, même les plus primitifs, peuvent être dits intelligents : une Paramécie sait éviter des conditions défavorables par une suite d'essais au hasard et de réactions d'évitement. C'est, nous l'avons vu, ce que Jennings a appelé la « *méthode des essais et des erreurs* ». Tous les animaux inférieurs sont obligés de se contenter de cette « méthode », et l'on voit souvent les animaux supérieurs, même l'homme, procéder ainsi par tâtonnements quand ils ne peuvent se représenter à l'avance les démarches qui leur permettraient de se tirer d'affaire à coup sûr. Nous disons alors, nous référant au deuxième sens du mot, qu'ils manquent plutôt d'intelligence !

On voit donc que les actes spécialement intelligents sont ceux dans lesquels l'animal imagine une possibilité d'agir qui ne lui est

pas dictée directement par ses impulsions et son activité instinctive ou habituelle, et dont il suppose par avance les conséquences favorables. Pour étudier expérimentalement ces actes, on pose aux animaux des *problèmes*, dont les plus simples sont les « problèmes de détour ». On oblige l'animal à contourner un obstacle pour parvenir à un objet qu'il convoite. Les comportements des animaux dans ces épreuves sont très différents : une Poule affamée, placée devant un grillage derrière lequel elle aperçoit un tas de grains, exécute une série d'allées et venues jusqu'à ce qu'elle trouve, par hasard, la « solution du problème ». Au contraire, un Chien, placé dans des conditions analogues, n'hésite guère : il « juge » aussitôt la situation, se représente le détour à faire pour atteindre l'objet convoité et exécute sans retard la démarche qu'il a conçue.

Pour qu'une action intelligente s'accomplisse il faut donc, non seulement que l'animal ait une certaine motivation, que le stimulus déclencheur soit en rapport avec cette motivation, que l'animal dispose de certaines manières d'agir, mais encore qu'il se représente une action possible avec ses conséquences. Tel est le critère essentiel des actes intelligents, ce qui les différencie profondément des actes instinctifs.

Ce critère n'est pas très facile à employer dans l'interprétation des cas expérimentaux. Rabaud l'a bien montré en citant l'exemple d'une pie qui semblait résoudre avec aisance un problème de détour. Un chat était occupé à manger de la viande et une pie apprivoisée convoitait cette nourriture. Elle se mit à tourner autour du chat et celui-ci, alarmé, tâchait de ne pas la quitter des yeux. Puis, brusquement, la pie donna un violent coup de bec à la queue du chat, lequel, se retournant, lâcha sa viande dont la pie s'empara d'un bond. A première vue, on peut penser que la pie est vraiment intelligente. Mais Rabaud dit judicieusement qu'il n'est pas sûr qu'elle se soit représenté les conséquences de ses actes : tourner autour du chat ennemi, lui piquer la queue, sont gestes instinctifs et, si à un moment donné, le chat lâche sa viande, la pie ne fait que profiter de cette conséquence qu'elle n'a peut-être pas prévue.

Nous trouvons dans les « Souvenirs entomologistes » de Fabre une expérience bien intéressante, car elle ressemble étrangement à celles, devenues célèbres, que fit plus tard W. Koehler sur l'intelligence des Chimpanzés, et dont nous parlerons plus loin. C'est à propos des Nécrophores qui, comme on sait, enfouissent les cadavres de petits animaux (Mammifères en particulier) avant d'y déposer leurs œufs. Les Nécrophores semblent être

**Le chimpanzé Gustave** du Zoo de Vincennes est capable de résoudre des problèmes assez compliqués. Bien que nouveau pour lui, celui-ci, consistant à mettre bout à bout deux parties de canne à pêche, ne demanda que quelques essais.

des insectes intelligents. Fabre leur pose le problème suivant : il suspend par les pattes de derrière, avec un lien attaché à une tige de bois plantée dans le sol, un cadavre de Taupe, de manière que la tête touche le sol. Les Nécrophores, attirés par l'odeur, se mettent en devoir de creuser la terre sous la tête de la Taupe, mais le cadavre ne descend pas. Alors, après avoir exploré la situation, ils montent le long de la tige de bois, coupent les liens et font tomber la Taupe, qu'ils enfouissent ensuite par leurs procédés ordinaires. Fabre a une idée nette de l'intelligence, qu'il appelle raison : « C'est, dit-il, la faculté qui rattache l'effet à sa cause et dirige l'acte en le conformant aux exigences de l'accident. »

### L'intelligence des Insectes

Cette définition est voisine de celle que nous avons donnée plus haut. Mais il refuse l'intelligence aux Nécrophores, car, selon lui, ces animaux ne se représentent nullement à l'avance les conséquences de leurs actes : s'ils coupent les liens, c'est parce qu'ils font toujours ainsi quand un cadavre est accroché à des racines, à des tiges herbacées, etc. Je ne suis pas de l'avis de Fabre : d'abord parce que les Nécrophores exécutent leur détour après examen de la situation, ensuite parce qu'ils reconnaissent l'obstacle avant de s'y attaquer. Fabre refusait l'intelligence aux Insectes par principe : il ne leur accordait que des instincts. Nous savons aujourd'hui que les Insectes sont au moins capables de résoudre des problèmes de détour simple : Thorpe l'a bien démontré récemment en expérimentant sur des Guêpes.

Quoi qu'il en soit, on voit qu'il n'est pas facile de dire à coup sûr si tel comportement animal est intelligent ou seulement instinctif. Il faut prouver expérimentalement que l'acte dépend d'une représentation de ses conséquences. Le très grand mérite de W. Koehler a été d'instituer une série de problèmes-types qui permettent de discerner l'emploi de la méthode des essais et erreurs et la mise en œuvre de processus mentaux intelligents. Ses remarquables recherches ont été faites pendant la guerre de 1914-1918, sur des Chimpanzés de la Station Zoologique de Ténériffe. Ces animaux se sont montrés capables de résoudre les problèmes plus ou moins compliqués qui leur ont été posés après quelques tâtonnements



ou tentatives vaines de préhension directe, en réfléchissant, en inventant des solutions adéquates et en agissant immédiatement en conséquence. Selon Koehler, la *soudaineté de la découverte de la solution*, après réflexion, est un critère net de l'existence, chez les animaux, d'une représentation de l'action possible. La *généralisation de la solution* est un autre critère de l'action intelligente, qui montre que l'action projetée peut être entreprise dans d'autres circonstances analogues. Par exemple, un Singe qui a appris à atteindre une banane suspendue hors de sa portée avec un bâton, se servira ensuite de toutes sortes d'objets pouvant remplir le même office.

La série des problèmes institués par Koehler et les chercheurs qui ont continué son œuvre est bien connue. Nous nous contenterons de rappeler les principaux : problèmes de détour où l'animal doit contourner des obstacles ; problèmes d'enlèvement d'obstacles que l'animal doit déplacer pour parvenir au but ; problèmes d'utilisation d'instruments pour atteindre ce qu'il convoite ; problèmes de préparation d'instruments avec les éléments dont il dispose. Le fameux chimpanzé Sultan, observé par Koehler, était capable d'enfiler deux bambous l'un dans l'autre pour obtenir une perche de longueur convenable.

Dans cet article, nous nous sommes donné

pour tâche de décrire les principaux types de comportements des animaux, de les caractériser, d'en donner parfois les lois, de montrer les principales étapes du développement du psychisme depuis les plus bas degrés de l'échelle zoologique jusqu'aux plus élevés. Ce faisant, nous avons dû écarter de nombreuses formes de comportements moins remarquables. C'est ainsi, par exemple, que nous avons laissé de côté les migrations animales, les phénomènes sociaux des Insectes, des Oiseaux, des Mammifères, les diverses formes du langage animal, etc.; il nous aurait fallu entrer dans de trop longs développements. Mais tous ces comportements se classent dans les rubriques générales que nous avons distinguées : ils appartiennent soit aux tropismes, soit aux instincts, soit aux habitudes, soit même aux actes intelligents. Ce qui importe avant tout, en psychologie animale, c'est de bien voir à quel type de comportement on a affaire dans les observations ou les expériences. L'analyse méthodique des comportements nous en fournit aujourd'hui de bons critères. C'est un des plus importants résultats positifs de la psychologie animale depuis environ cinquante ans.

G. VIAUD

Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg.

# L'HOMME

## et ses

# ANCÊTRES

L'HOMME est le tard-venu parmi les êtres vivants. Son histoire est toute récente, bien que s'étendant sur des millénaires. Une simple transposition de l'échelle des temps va nous en fournir la preuve.

Supposons que les événements saillants de l'évolution biologique de notre globe soient répartis sur une seule année et que l'apparition de la vie sur la terre ait eu lieu le 1<sup>er</sup> janvier. Il faut attendre la fin de juillet pour trouver les premiers vertébrés marins ; les grands reptiles et les premiers mammifères occupent la seconde moitié d'octobre. Le 13 décembre, l'ère tertiaire débute avec les premières formes simiennes. Le 31 décembre seulement, vers 14 heures, nous entrons dans l'ère quaternaire, la dernière vaste période des géologues, la plus courte et cependant la plus importante à notre point de vue, puisque nous y sommes. Mais si les formes frustes, dites « préhominiennes » (Pithécantropes, Sinanthropes), s'annoncent vers 17 h 30, en fin d'après-midi, les premiers vestiges d'*Homo sapiens* sont plus tardifs : les hommes de Swanscombe et de Fontéchevade entrent en scène vers 20 ou 21 heures ; les nombreux témoignages de la race dite de Néandertal apparaissent vers 23 h 40, et ce n'est que vers 23 h 50 que notre *Homo sapiens* occupe définitivement la scène pour marquer, déjà, une éclatante prééminence artistique en Occident : c'est le développement et l'apogée de notre admirable art quaternaire, l'art de Lascaux, de Niaux et d'Altamira.

Désormais, nous ne comptons plus qu'en secondes... La révolution économique et démographique du Néolithique éclate en Occident vers 23 h 54' 15". L'Age de Bronze est pour 23 h 59', alors que l'Humanité, depuis quelques secondes, est entrée dans l'Histoire,

**Tableau synoptique** des temps préhistoriques. Les fuseaux indiquent le début, l'apogée et la décroissance des divers « phylums ». A gauche, les fluctuations glaciaires.

Q  
U  
A  
T  
E  
R  
N  
A  
I  
R  
E

III

II

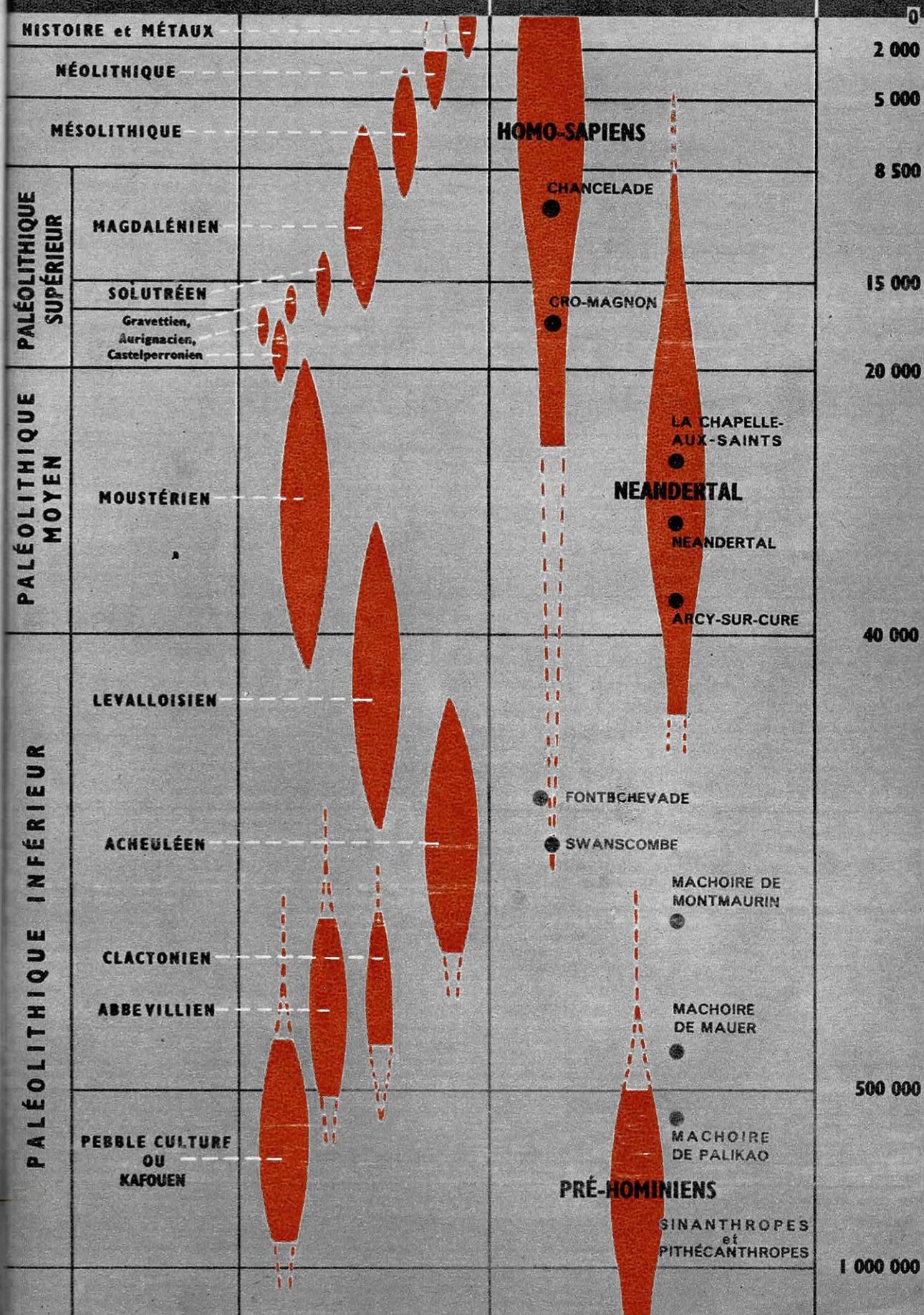
I

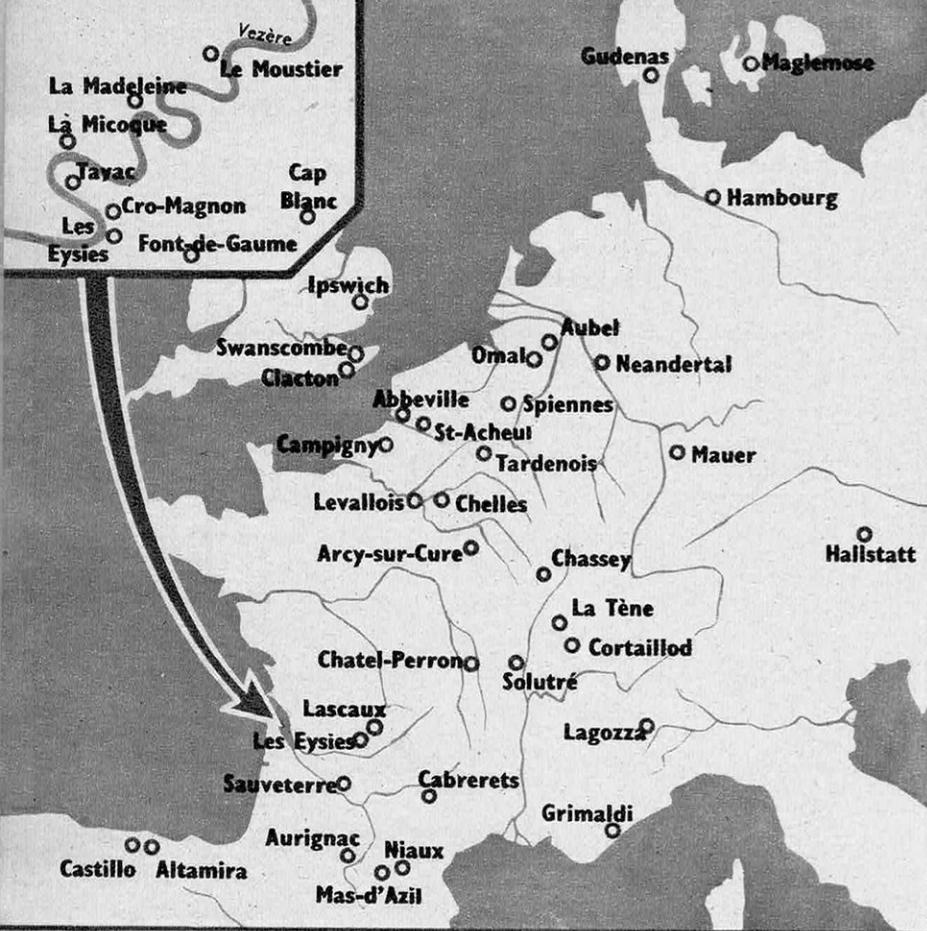
4<sup>ème</sup> Glaciation  
**WURM**TROISIÈME  
PÉRIODE  
INTERGLACIAIRE3<sup>ème</sup> Glaciation  
**RISS**DEUXIÈME  
PÉRIODE  
INTERGLACIAIRE2<sup>ème</sup> Glaciation  
**MINDEL**PREMIÈRE  
PÉRIODE  
INTERGLACIAIRE1<sup>ère</sup> Glaciation  
**GUNZ**

## ÉCHELLE ARCHÉOLOGIQUE

## ÉCHELLE ANTHROPOLOGIQUE

ANNÉES





**Les stations préhistoriques.** La plupart des grands gisements d'Europe occidentale ont donné leur nom à des civilisations préhistoriques ou à des races humaines. Mais ceci ne préjuge en rien de leur origine. Ce n'est, en fait, qu'un hommage rendu à nos pionniers, car il serait tout aussi faux de donner l'Europe comme unique émettrice que de la considérer comme l'aire exclusive des départs et des arrivées des civilisations. La préhistoire, comme l'histoire, montre que l'Europe a eu parfois son heure de primauté et que, sur le plan des idées et des techniques elle a certainement beaucoup plus donné qu'elle n'a reçu.

Carte L.-R. Nougier.

connaît l'écriture quelque part en Orient. A 23 h 59' 45'', au pied du Mont-Lassois, la princesse de Vix est enterrée, avec son immense cratère de bronze et son char, importations grecques en Occident. A minuit prend fin cette année-repère. Et dans 45 ans, dans ce que nous appellerons l'an 2 000, nous n'aurons vécu qu'une minute de l'année nouvelle à échelle réduite.

### L'accélération de l'humanité

L'Homme, le dernier venu de la vaste famille des êtres vivants est, à l'origine, soumis comme eux à toutes les servitudes du milieu naturel. Mais il est le seul à prolonger ses membres par un outil étranger à lui-même. Ce premier outil, morceau de silex recueilli sur le sol, éclaté contre un autre silex, taillé enfin, est l'emblème de l'humanité primitive, le sûr moyen de son ascension. La progression sera très lente. Pendant des centaines de millénaires, huit cents peut-être, l'outillage et le genre de vie ne sembleront pas évoluer. L'archéologue qui cherche des repères chronologiques les demande aux phénomènes géologiques. Ce sont les climats successifs que connaît l'humanité qui découpent son ascension.

Le Quaternaire, l'ère géologique de l'Hom-

me, a connu diverses phases climatiques, glaciaires et interglaciaires, dont la dernière, la grande glaciation, dite de Wurm, joue un rôle capital dans l'histoire de l'humanité. L'immense période qui l'a précédée avec ses alternances climatiques, couvre une très longue chronologie, avec des genres de vie et des civilisations relativement homogènes. Le Paléolithique ancien va de l'origine de l'Homme à quelque 40 000 ans avant notre ère. Le Paléolithique moyen, période intermédiaire de tâtonnements prometteurs, nous rapproche de quelque vingt millénaires et prépare une première apogée humaine, celle des peuples chasseurs et pêcheurs, les civilisations dites de l'Age du Renne en Occident.

Cependant, l'Homme demeure asservi à la nature. Ce n'est qu'au Néolithique, la grande période de la « pierre nouvelle », que son attitude change enfin. Il se fixe sur ce sol qu'il parcourait jusqu'alors sans trêve pour la collecte et la chasse. Il se fait sédentaire, cultive le sol et domestique quelques animaux. C'est le virage capital de l'humanité. Ce que nous appelons « progrès » commence alors son développement vertigineux. Le cuivre annonce l'âge des métaux à la fin du troisième millénaire avant notre ère. Puis vient le bronze

# LES GRANDES ÉTAPES DE LA CONNAISSANCE DU MONDE



Carte L. R. Nougier.



Clichés Arambourg.

et, plus tard, le fer, encore considéré comme un métal précieux en Gaule, vers 900 ans avant notre ère. Mais si l'usage du cuivre a mis 2 000 ans pour se répandre à partir de l'Orient, le fer ne met qu'un demi-millénaire.

Le second grand virage de l'humanité s'amorce à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle avec l'utilisation de la vapeur. C'est le machinisme, l'électricité, le pétrole, les ondes électromagnétiques, la désintégration nucléaire... « L'action totale de l'humanité sur sa planète », qu'annonçait Auguste Comte, va devenir réalité.

### L'Humanité en expansion

Un des sujets d'étonnements de l'archéologie est certainement l'extrême diffusion de l'humanité dès ses plus lointaines origines, diffusion limitée toutefois à l'ancien continent. Asie, Afrique, Europe, jusque dans leurs prolongements extrêmes, recèlent les traces archéologiques et parfois paléontologiques de l'homme. Cette très primitive humanité est infime en nombre, et sa dispersion explique, pour une part, la lenteur des progrès que, seules, les grandes concentrations humaines favorisent.

C'est au cours du Paléolithique supérieur, vraisemblablement vers 12000 ou 10000 avant notre ère, que des groupes d'Asie, peut-être à la suite d'un heureux hasard de chasse, profitant de ce que le détroit de Behring était

alors isthme de terre, étendirent le peuplement à ce qui sera l'Amérique.

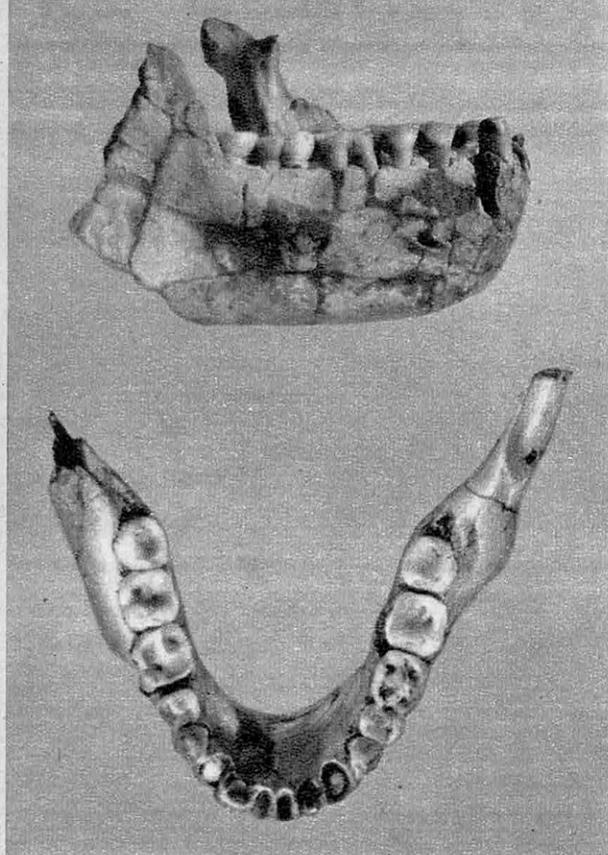
Au Néolithique, l'expansion démographique impose un nouveau et plus efficient genre de vie, avec l'agriculture, l'élevage, l'industrie et le commerce. Peu à peu les terres nouvelles se raréfient et les terres traditionnelles supportent des masses humaines de plus en plus considérables. Au début de notre siècle, la population du globe atteint deux milliards d'individus et s'étend à toutes les terres, même à celles qui paraissent le moins habitables.

Quelle est l'origine de cette merveilleuse aventure ? A quel moment, dans l'échelle des êtres, pouvons-nous dire : « Voici l'Homme ? »

### L'« Homme » de Ternifine-Palikaou

Les critères paléontologiques de l'humanité sont fort délicats à définir. L'homme n'est pas seulement une capacité crânienne donnée, une forme particulière de mandibule et de dentition, une structure de l'os iliaque, indiquant la marche debout. Un ensemble de faits biologiques rassemblés pendant une longue et lointaine période a, certes, permis le grand départ à une époque que les rares vestiges qui ont été mis au jour ne permettent pas de préciser. L'homme, c'est surtout l'industrie qu'il a créée, si primitive soit-elle.

Ici, les témoignages archéologiques sont innombrables; silex ou quartzites taillés sont dis-



## L'Atlanthropo de Ternifine-Palikao

Les fouilles récentes entreprises sous la direction du professeur Camille Arambourg, du Muséum National d'Histoire Naturelle, à Ternifine-Palikao, non loin de Mascara (département d'Oran), ont mis au jour tout un ensemble de vestiges osseux d'hommes et d'animaux (hippopotames, éléphant atlantique, etc.). La présence d'outils primitifs, silex taillés sur les deux faces, de type Abbevillien ou Acheuléen, nous fait connaître enfin le type d'homme associé à cette faune ancienne. Cet Atlanthropo, dont l'une des trois mandibules recueillies est représentée ci-contre, s'apparente aux Pithécantropes, ce qui permet d'affirmer que ces derniers furent des hommes.

séminés par millions à travers l'ancien monde. Mais le travail du silex, en remontant les âges, devient de plus en plus fruste, au point que son caractère intentionnel est difficile puis impossible à affirmer. Reconnaitrons-nous comme outils humains les galets taillés de la « pebble-culture » (*pebble* signifie caillou), que l'on trouve à des niveaux très anciens dans une vaste région qui s'étend, en Afrique, des Grands Lacs au Transvaal? Aucun reste fossile ne les accompagne, qui puisse donner une idée de la race humaine à laquelle on pourrait les attribuer. Avec eux nous atteignons les marges confuses du tertiaire finissant et du quaternaire commençant, il y a 800 000 ou 1 000 000 d'années. Il semble que nous arrivions à la limite et que les apparences de certains silex de l'époque tertiaire (éolithes), bien qu'évoquant une taille intentionnelle, soient dues à des causes naturelles.

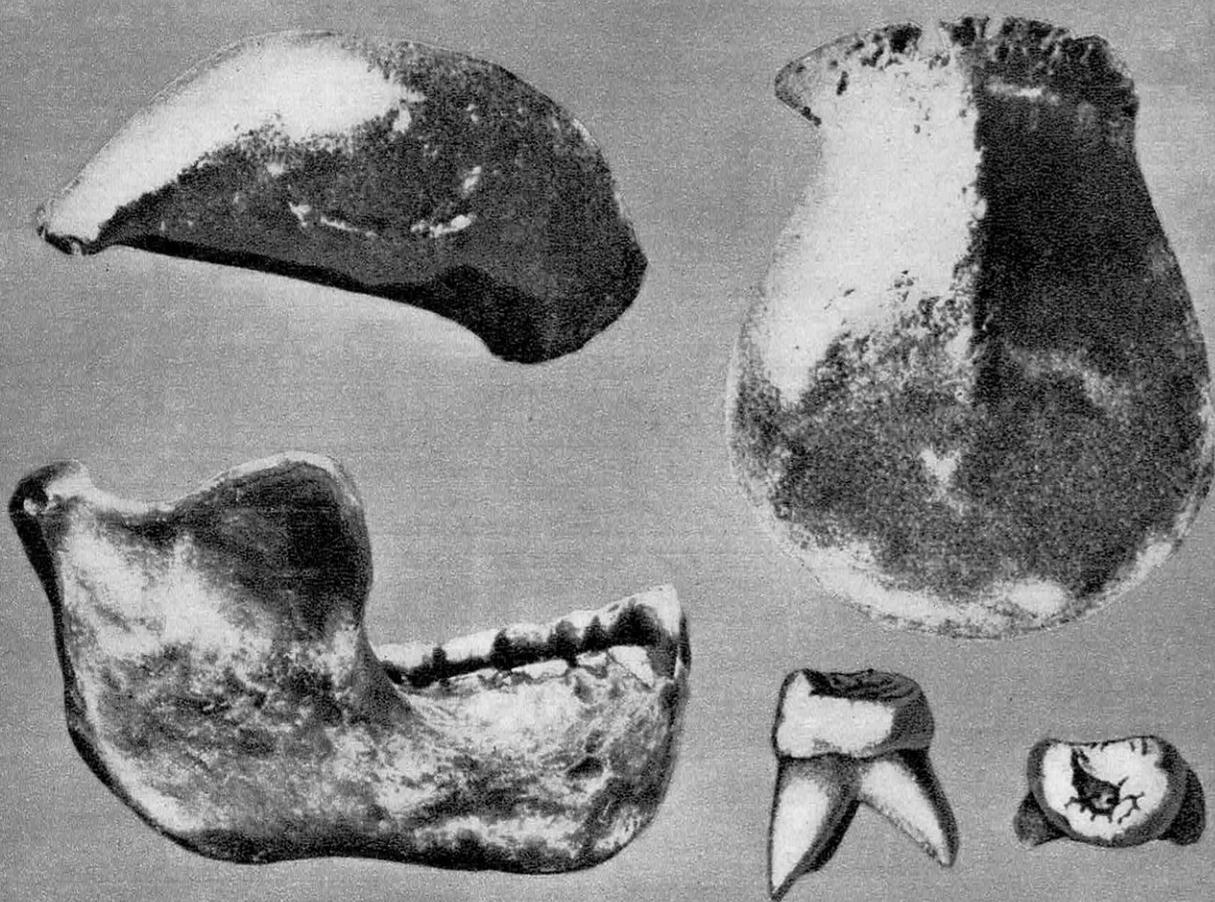
Quoi qu'il en soit, l'Humanité n'est sûrement attestée que par la convergence des faits paléontologiques et archéologiques. C'est cette convergence qui donne sa pleine valeur aux récentes découvertes du professeur C. Arambourg dans le site de Ternifine-Palikao, en Afrique du Nord.

Il s'agit d'un ancien lac du Maghreb, comme il s'en trouva beaucoup dans cette région au début du quaternaire, lieu d'attirance et de conservation de la grande faune

dont les restes précisent les espèces : *Elephas atlanticus*, *Rhinoceros simus*, *Hippopotamus amphibius*, toutes des environs du tertiaire finissant. Ce lac attira aussi l'homme, et, pour la première fois dans un site aussi ancien, se rencontrent à la fois des vestiges osseux de l'homme et les outils qui témoignent de son ingéniosité. Ce sont des hachereaux, des « bifaces » taillés au percuteur de pierre sur les deux faces, suivant le modèle des outils primitifs de l'Abbevillien ou de l'Acheuléen ancien. Dès maintenant, en attendant une analyse minutieuse, nécessairement longue, les êtres à qui ont appartenu les mandibules de Ternifine-Palikao peuvent se ranger dans le genre des Pithécantropiens, où l'on s'accorde à ranger les Sinanthropes et Pithécantropes, ainsi que l'individu qui a fourni la célèbre mâchoire de Mauer.

### Les Pithécantropiens, première famille d'hominiens

C'est en 1891 que le docteur Eugène Dubois, effectuant des fouilles à Trinil, dans l'île de Java, trouva, dans des dépôts alluviaux de la rivière Solo, une calotte crânienne accusant des caractères primitifs et que la faune associée au niveau de la découverte conduisait à dater du Pléistocène inférieur. Son apparence générale aurait pu la faire attribuer à un singe, mais la capacité crânienne, voisine de 900 cm<sup>3</sup>, était de beaucoup supérieure à celle de toutes les espèces simiennes connues. E. Dubois trouva un peu plus tard, dans le même gisement, à 15 m de distance seulement, un fémur, remarquable cette fois par son apparence humaine et prouvant que l'individu à qui il avait appartenu avait une attitude verticale, d'où le nom de *Pithecanthropus erectus*. Les spécialistes ne manquèrent pas de critiquer cette association d'un fémur « moderne » et d'un crâne primitif, mais l'étude de l'évolution des espèces ani-



Ph. Musée de l'Homme.

## Le Pithécantrophe de Trinil, à Java

C'est en 1889 qu'un médecin militaire hollandais, Eugène Dubois, reçut la mission de pratiquer des fouilles à l'île de Java. Ci-dessus, en haut et à droite, deux des principales pièces osseuses qui furent trouvées : calotte crânienne vue par-des-

sus et de profil ; molaire vue de profil et par la couronne. La mâchoire de Mauer, en bas et à gauche, est le plus ancien fossile humain d'Europe ; il se range dans la même lignée pithécantropienne que les hommes de Java et de Ternifine.

males montre que l'émergence des différents caractères d'une espèce nouvelle ne s'effectue pas simultanément pour tous les caractères. Si l'on veut considérer les Pithécantropiens comme une étape dans l'évolution des Hominidés vers l'espèce humaine telle que nous la connaissons, on peut parfaitement admettre que la différenciation du squelette s'est effectuée plus rapidement pour les organes de locomotion que pour les os du crâne et le volume du cerveau. D'ailleurs, on retrouve la même disparité entre fémurs et calottes crâniennes dans les fossiles du Sinanthrope, dont on est sûr qu'ils proviennent sinon des mêmes individus, du moins d'individus d'un même groupe.

A la suite de ces trouvailles, les recherches furent poussées activement à Java, mais c'est seulement dans les années qui précédèrent la deuxième guerre mondiale, entre 1936 et 1939,

que von Koenigswald mit au jour d'autres vestiges de Pithécantropes : un crâne d'enfant à Modjokerto, dans la partie orientale de Java, et surtout plusieurs fragments crâniens à Sangiran, à 50 km de Trinil, où avaient été faites les découvertes de E. Dubois. Les mêmes caractères se retrouvaient : calottes crâniennes avec front fuyant et volumineuse protubérance osseuse sur les orbites, mandibules massives. Certains fragments, provenant d'un niveau plus ancien, présentaient une structure plus compacte, et von Koenigswald proposa pour ce groupe le nom de *Pithecanthropus robustus*, mais la parenté étroite entre les deux formes est évidente, de même qu'avec le Sinanthrope.

Ce terme fut lancé en 1927 par le docteur Davidson Black, professeur d'anatomie à l'Université de Pékin qui, après l'étude d'une seule dent, affirmait qu'au Pléistocène avait

existé en Chine un type inconnu et primitif d'Hominidé. Cela parut bien audacieux à l'époque, mais faisait honneur à la perspicacité du docteur Black, car, peu après, la fouille méthodique de la vaste caverne de Choukoutien, à 42 km au sud de Pékin, livrait un abondant matériel : quatorze calottes crâniennes ou fragments de calottes, morceaux d'os faciaux, nombreuses dents, quelques os de membres, le tout ayant appartenu à une quarantaine d'individus, dont quinze enfants. Les analogies étaient frappantes avec le Pithécanthrope de Java, mais le docteur Black, soulignant quelques différences morphologiques dans les boîtes crâniennes, insista pour ranger ses trouvailles sous le terme de *Sinanthropus Pekinensis*. On est généralement d'accord aujourd'hui pour considérer que ces traits particuliers n'excèdent pas les variations normales que l'on observe entre individus d'une même espèce, sinon d'une même race, ou à la rigueur d'espèces très voisines. Le *Sinanthrope* est considéré à peu près unanimement comme très voisin du Pithécanthrope de Java.

Le plus ancien fossile humain d'Europe, la mandibule de Mauer, trouvée en 1907 à 10 km de Heidelberg, se range elle aussi dans cette même lignée pithécanthropienne. Bien conservée, cette mâchoire robuste, de fortes dimensions, aux branches montantes larges, suggère nettement le Pithécanthrope de Sangiran. Enfin, les arcs des branches des mandibules fossiles de Java, de Mauer et de Ternifine-Palikao se superposent. Tout s'accorde pour prouver que les Pithécanthropiens étaient largement répandus sur tout l'ancien continent.

On pouvait, jusqu'aux toutes récentes découvertes d'Afrique du Nord, douter que les Pithécanthropiens aient connu l'usage des outils. Aucun vestige d'industrie n'accompagnait la mâchoire de Mauer ni les trouvailles de Java. La caverne de Choukoutien renfermait bien des racloirs, pointes et perçoirs en quartz, des outils fabriqués avec des bois de cerfs, et un amas de cendres épais de 7 m prouvait que le feu y avait été entretenu longtemps. Mais de nombreux anthropologistes en attribuaient l'usage à une race hominiennne inconnue beaucoup plus évoluée, pour qui le *Sinanthrope* aurait constitué un gibier, la caverne de Choukoutien ne nous livrant que les reliefs des festins. Cette interprétation n'apparaît plus plausible, maintenant que l'*Atlantrope* a été découvert à côté de ses outils.

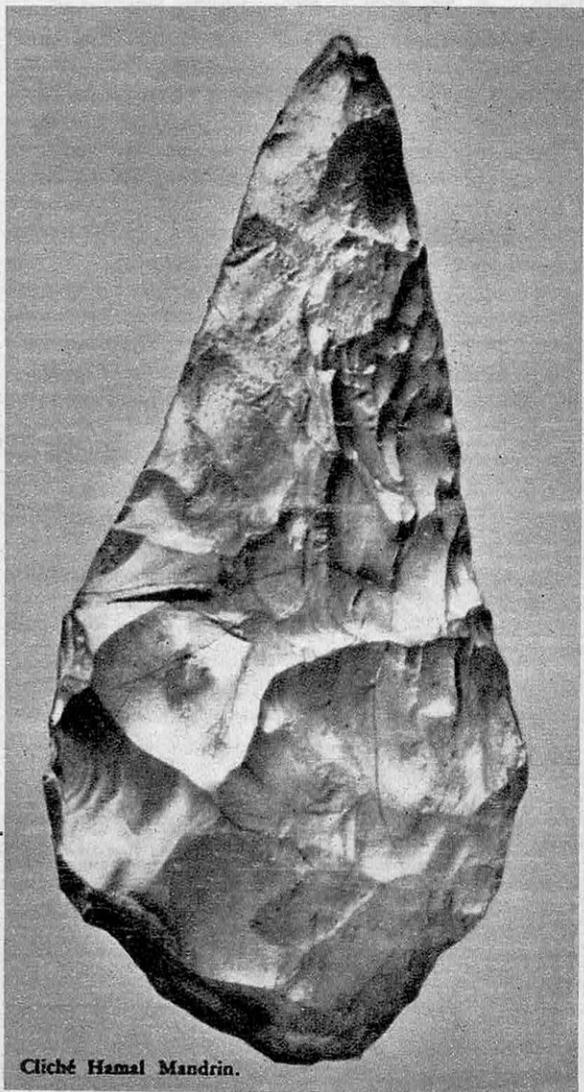
---

**Biface d'Haravesnes** (Pas-de-Calais). Cet outil, qui caractérise l'époque acheuléenne, se rencontre en de très nombreux pays de l'ancien continent : en Angleterre, au Maroc, au Tanganyika, en France, en Palestine, au Kenya, etc.

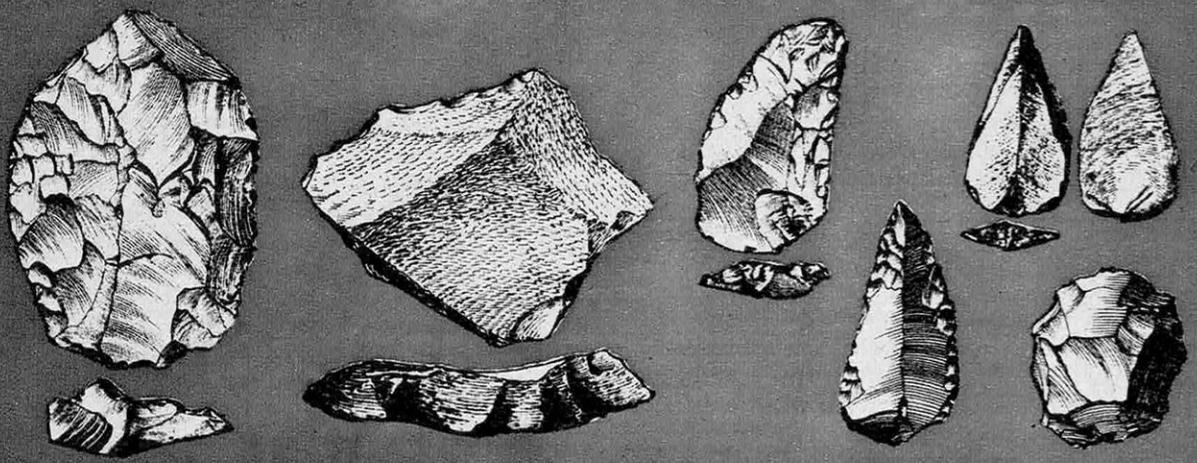
## Les ancêtres du Pithécanthrope

Quelle est l'origine de ce « phylum » pithécanthropien? C'est un problème que l'on ne peut qu'évoquer. On ne peut guère qu'essayer d'imaginer, d'après ce que l'on sait de la marche de l'évolution dans les autres ordres de mammifères, quelles formes les plus plausibles ont pu représenter les ancêtres du Pithécanthrope, et chercher parmi les groupes de Primates disparus ceux qui s'en rapprochent le plus.

Un premier jalon est constitué par le groupe des Australopithécidés. La première découverte remonte à 1925, avec le crâne de Tanny dans le Béchouanaland par le professeur Dart, de la Witwatersrand University, à Johannesburg. Dart baptisa l'espèce *Australopithecus*, terme qui a le grave défaut d'évoquer l'Australie, alors qu'il s'agit de fossiles rencontrés exclusivement en Afrique du Sud. De nombreux autres ossements ont été découverts par la suite par le docteur Broom et par Dart lui-même, et on connaît maintenant assez bien les traits principaux de ce groupe. L'*Australopi-*



Cliché Hamal Mandrin.



Cl. Musée de l'Homme, dessins L. R. Nougier.

thèque se rapproche des Hominidés de beaucoup plus près que tous les Simiens connus, actuels ou fossiles, tant par le volume de son cerveau, cependant encore très réduit, que par la structure de son corps qui permettait certainement la station et la marche verticales.

Rien ne s'oppose à ce que l'ancêtre du Pithécanthrope ait appartenu à ce groupe, ou à un groupe très voisin, ce qui ne veut pas dire que la transition se soit effectivement faite en Afrique. Il semble que le phylum pithécanthropien se soit déjà établi alors que l'Australopithèque existait encore. La chronologie est délicate, mais si la chose était certaine, on pourrait sans inconvénient considérer les fossiles africains comme représentant des survivants plus ou moins modifiés du type ancestral commun.

Si on tente de remonter beaucoup plus haut, à l'époque où les Hominidés se seraient séparés des autres groupes de Primates, on en est réduit aux pures suppositions.

Il est hors de doute que le berceau de l'humanité doit se chercher dans l'ancien monde. Faut-il le situer en Afrique orientale où vivait, à la fin du miocène, un grand simien à caractères déjà orientés, le Proconsul Major, au cerveau relativement développé ? Il avait la taille d'un gorille, un genre de vie arboricole ou même terrestre dans les régions partiellement déboisées du Kenya, régions qui ont livré ses restes. Faut-il au contraire chercher le berceau de l'humanité dans les Siwalick-Hills, où les Primates abondaient au tertiaire, ou, plus au nord, sur le très haut plateau central asiatique ? A l'emplacement du Tibet actuel, avant la surrection de l'Himalaya, s'étendait une large plaine, probablement dénudée, apte à remplir le rôle de creuset générateur, où les Primates auraient connu une évolution buissonnante et d'où ils auraient divergé en vagues concentriques. On ne peut encore se prononcer.

Le « phylum » pithécanthropien, en tout cas, a subsisté fort longtemps. Puisant ses ori-

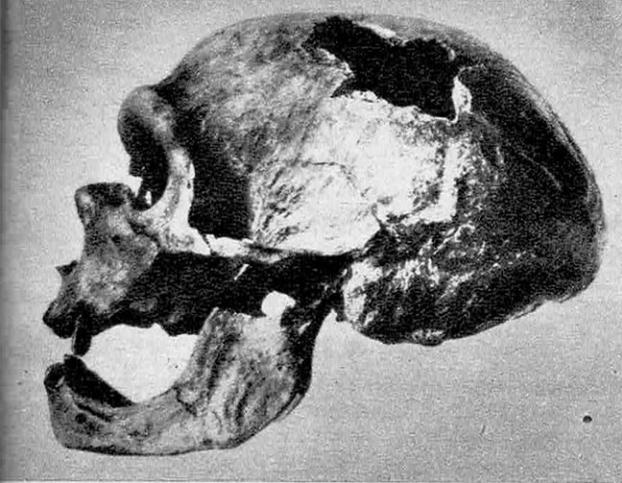
gines à la fin du tertiaire et occupant largement le quaternaire, il semble avoir persisté jusqu'à la glaciation de Wurm, laissant la place aux rameaux qui avaient dû s'en détacher auparavant à des époques et en des lieux qu'on ne saurait préciser : le rameau de l'Homo Sapiens, celui de l'humanité actuelle, (peut-être y a-t-il une solution de continuité entre ces deux phylums, sans filiation) et le rameau de l'Homo Neandertalensis, qui devait s'éteindre après la glaciation, après avoir connu une remarquable extension.

### L'homme de Néandertal

La découverte de l'homme de Néandertal date exactement de cent ans. C'est en effet en 1856 que furent mis au jour, dans la caverne de Néandertal, près de Dusseldorf, une calotte crânienne et des fragments de squelette qui présentaient des caractères très particuliers, justifiant leur attribution à un groupe distinct du genre Homo. Par la suite, de nombreux fossiles du même genre ont été découverts en Europe occidentale : Gibraltar, La Chapelle-aux-Saints, La Quina, Monte-Circeo, Le Moustier, La Nauvette, etc. Nous connaissons maintenant plusieurs dizaines de bons échantillons, non seulement des crânes, mais des squelettes entiers.

L'homme de Néandertal se présente avec un corps vigoureux et lourd, une tête aux os épais, un crâne avec un bourrelet osseux, massif et ininterrompu au-dessus des orbites, des mâchoires robustes où s'affirme la prédominance des fonctions végétatives, on pourrait dire bestiales, sur les fonctions cérébrales. La capacité crânienne est pourtant forte, de l'or-

**Le monde des Abbevilliens et Acheuléens.** De l'un à l'autre, on passe progressivement de l'utilisation des galets aménagés au galet épais taillé sur deux faces, puis au biface plus mince, plus régulier aussi, dégrossi d'abord au percuteur de pierre, fini au percuteur de bois.



## L'Homme de Néandertal

Le crâne de La Chapelle-aux-Saints (Corrèze) (à droite) se rattache à la race de Néandertal, à laquelle on associe généralement tout le matériel (outils de silex) levalloisien et moustérien, représenté à gauche. Le premier homme de Néandertal fut découvert en 1856, près de Düsseldorf.

dre de 1540 cm<sup>3</sup>, comparable à celle des races d'hommes actuelles. Dans l'ensemble, les différences dans la constitution du squelette par rapport à l'*Homo Sapiens* sont aussi importantes que celles qui distinguent les espèces dans les autres groupes de Primates. Mais il s'agit bien d'une espèce du genre *Homo*, comme le prouve son industrie dite « moustérienne » (Le Moustier, en Vézère). Si le culte des crânes qu'on lui a attribué parfois n'emporte plus l'adhésion unanime, il semble bien que nous pouvons admettre que l'Homme de Néandertal pratiquait les sépultures volontaires.

### L'Homo Sapiens

Les anthropologistes sont généralement d'accord pour considérer toutes les races modernes de l'humanité comme des variantes d'une espèce unique : *Homo Sapiens*. Cette espèce a incontestablement une très grande antiquité. Vers moins vingt mille ans, les découvertes

sont nombreuses, correspondant à la fin du Pléistocène (Paléolithique supérieur, Aurignacien et Magdalénien). Les restes fossiles de cette époque sont entièrement conformes à l'*Homo Sapiens* moderne. Morphologiquement, il n'existe pas de caractère anatomique net qui permette de distinguer un homme de Chancelade, de Cro-Magnon ou de Grimaldi d'un homme moderne. Les populations d'Europe, dès l'Aurignacien, avaient développé une culture complexe, avec des industries nombreuses et bien diversifiées, et les témoignages éclatants du grand art rupestre occidental ne laissent aucun doute sur l'appartenance humaine de leurs auteurs.

Mais depuis plusieurs années déjà, nous savons que le « phylum » plonge beaucoup plus dans le passé et dépasse nettement le Paléolithique supérieur où les anciennes découvertes l'avaient cantonné. Si nous remontons l'échelle chronologique, nous constatons une sorte d'éclipse des *Homo Sapiens*, abondamment représentés après la glaciation de Wurm et curieusement absents des niveaux archéologiques de type moustérien qui n'ont livré jusqu'à maintenant que des hommes de Néandertal. On trouve de nouveau l'*Homo Sapiens* jusque dans le Pléistocène ancien. Nous n'en retiendrons comme témoignages incontestables



que la calotte crânienne de Fontéchevade et le crâne de Swanscombe. Le « phylum » de l'humanité actuelle verrait ainsi reporter ses origines à quelque deux cent mille ans.

### La vie au paléolithique ancien

La note dominante de la période qui a précédé la glaciation de Würm est son caractère « tempéré-chaud », ainsi qu'en témoigne la flore de cette époque, élément plus stable et donnant ainsi des indications plus précieuses que la faune sujette à des migrations plus rapides. Les tufs calcaires de La Celle-sous-Moret, où l'on recueille des « bifaces » de la période acheuléenne (d'après la localité de Saint-Acheul, près d'Amiens), gardent encore l'empreinte de buis, de laurier des Canaries, de mousses propres aux eaux calcaires, semblables à celles que l'on trouve en cours de fossilisation dans le climat méditerranéen de Saint-Guilhem-le-Désert, dans l'Hérault.

L'homme mène alors un genre de vie nomade, en perpétuel changement, à la recherche des vivres qu'il collecte. Les habitats de quelque stabilité sont exceptionnels : Banc de l'Hôpital à Abbeville, Grotte de l'Observatoire à Monaco, et les innombrables outils archéologiques que l'on recueille sont ceux qu'il a semés au long de ses parcours, pendant une période qui s'étend peut-être sur 500 000 ans.

Tant qu'il n'a pas connu le feu, l'homme devait rechercher à peu près exclusivement les fruits sauvages et les plantes qui, en s'épuisant, le contraignaient à d'incessantes migrations. Les saisons défavorables, les rigueurs d'un climat changeant, la raréfaction des espèces végétales aisément comestibles l'amènent au ramassage généralisé des animaux faibles, malades, blessés, et le font passer insensiblement de cette « chasse passive » qu'est la collecte à une chasse active avec des épieux de bois ou d'os.

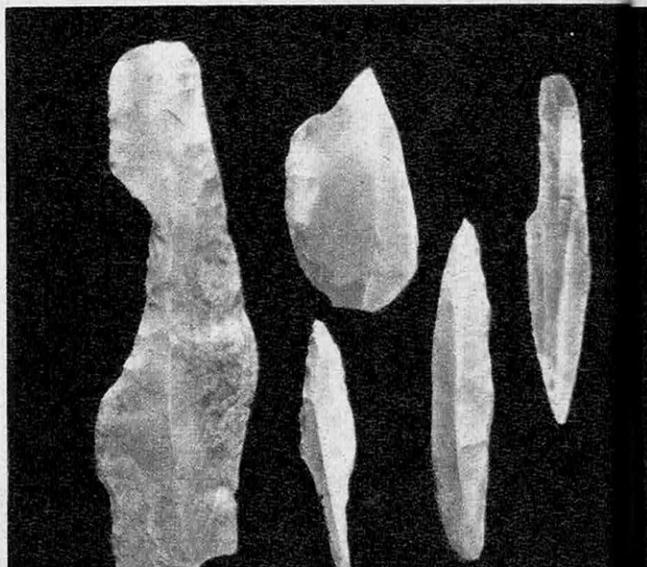
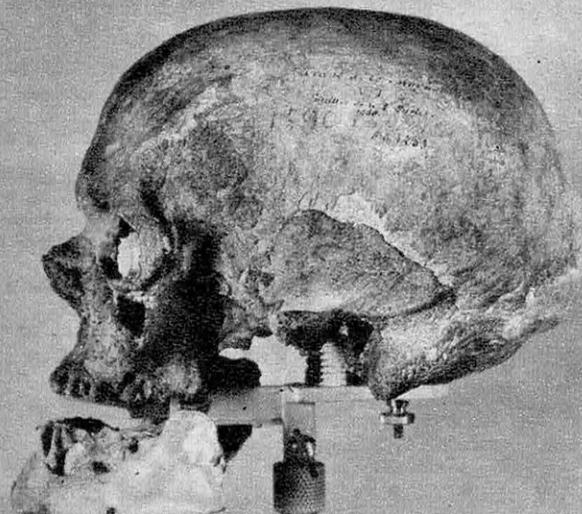
A l'Abbevillien, au Paléolithique inférieur, le biface, plus ou moins ovoïde, plus ou moins lancéolé, est simplement dégrossi par une taille pierre contre pierre ou sur une enclume; il est vraisemblablement adapté à de multiples usages que nous ignorerons toujours. Retaillé et « fini » avec un percuteur de bois, le biface atteint, à l'Acheuléen moyen et supérieur, une forme beaucoup plus perfectionnée et efficace; l'amande acheuléenne qui accompagne l'Homme de Swanscombe est déjà un chef-d'œuvre d'art technique. Mais on n'utilise pas exclusivement des bifaces; des éclats frustes, informes ou intentionnellement retouchés, accompagnent le matériel de ces premières civilisations.

Plus tard, des techniques de taille nouvelles, adaptées à la fabrication d'éclats, caractérisent les civilisations clactonienne (Clacton-on-Sea, Angleterre), tayacienne (Tayac, Dordogne), levalloisienne (Levallois, Seine).

Le biface de l'Acheuléen ancien exigeait environ 1 kg de silex pour 20 cm de tranchant utile, la pièce achevée; la finition au bois double la longueur du tranchant utile. Le débitage plus adroit, la production systématique d'éclats et de pointes de formes diverses, suivant la destination de l'outil, portent, au moustéro-levalloisien, la longueur de tranchant utile d'un kilogramme de silex à 2 m, pour une dizaine d'éclats.

L'outillage lithique, l'outillage de pierre, se diversifie donc, mais avec une extrême lenteur. Sans doute s'accompagnait-il d'un outillage de bois et d'os dont nous ne trouvons plus trace car il avait infiniment peu de chances de se conserver jusqu'à nous. Il est difficile sans lui de se faire une idée quelque peu précise de l'état d'avancement de cette humanité fruste, mais déjà singulièrement complexe.

Clichés Musée de l'Homme, Tendron, L.-R. Nougier, R. Robert.



## L'expansion humaine au paléolithique ancien

Cette première humanité du biface et de l'éclat, si primitive soit-elle, manifeste une réelle force d'expansion. Géographiquement, elle s'étend à tout l'ancien continent, des gorges d'Oldoway, en Afrique orientale, aux terrasses de la Somme ou de la Tamise, de la carrière de Sidi Abder Rhamane, à Casablanca, à l'Inde péninsulaire et à la région de Madras. L'Asie orientale, seule, se distingue par une industrie particulière de galets taillés, avec des tranchets et outils à racler.

Les grands espaces, tels que les plateaux sahariens, connaissent alors une faune de type tropical et constituent d'excellents territoires de parcours. Dans l'Europe compartimentée, les terrasses des grands cours d'eau : Manzanarès (Espagne), Garonne, Loire, Seine, Tamise, forment des axes naturels de pénétration. Parfois les habitats humains plus stables s'étendent à des grottes : Castillo dans les Cantabres, abri Olha dans les Pyrénées, Spy en Belgique. Seule, la partie nord-est de l'Ancien Monde semble échapper à l'homme.

Mais cette grande diffusion ne doit pas faire illusion sur la valeur du peuplement. Si on trouve au Sahara — qui a connu des épisodes climatiques humides et dut être abondamment sillonné — des gisements par centaines et des bifaces par milliers ou dizaines de milliers, il ne faut pas oublier que cette industrie acheuléenne s'est étendue de 500 000 ans ou plus à quelque 50 000 ou 40 000 ans avant notre ère. Compte tenu de multiples facteurs, on pourrait estimer la population de la Gaule à quelques centaines d'habitants au début du Paléolithique ancien ; elle passe à 10 000 ou 20 000 à la fin de la grande période qui précéda la glaciation de Wurm et l'ensemble du monde ne portait probablement

pas, alors, plus d'un demi-million d'individus.

La glaciation de Wurm introduit une dominante froide dans la faune, avec le renne, le mammouth, le rhinocéros tichorhinus et l'ours des cavernes.

Ce climat, plus rigoureux, transforme les genres de vie. La collecte se fait rare, la chasse demeure aléatoire, malgré les perfectionnements de l'outillage avec la fabrication systématique des pointes de silex fines et acérées et l'emploi d'ossements animaux, généralement conservés. La recherche d'un abri passe au premier plan, qu'il s'agisse de grottes plus ou moins profondes (Le Moustier, Spy), de surplombs rocheux plus modestes (abris Bouillaud et Sandougne à Tabaterie, petits abris de la Quina), ou même du sol libre où l'on édifie des huttes de branchages ou de peaux. Le refroidissement, l'augmentation des précipitations, les inondations raréfient les habitats de terrasses et opèrent une véritable concentration humaine. Les habitats sont localisés de préférence dans les régions offrant de nombreux abris naturels, telles les bordures jurassiques et crétacées du Massif Central.

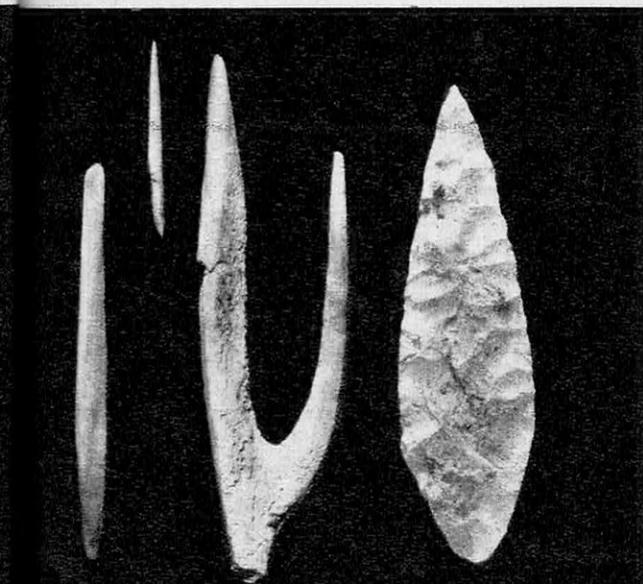
## L'Humanité à l'époque de Néandertal

Cette existence de chasseur, au contact de l'ours des cavernes, est celle de l'Homme de Néandertal. La chasse passe désormais au premier plan.

Le monde néandertalien, toujours limité à l'Ancien Continent, connaît encore une extension relativement restreinte sur le plan géographique et démographique. Seules les récoltes d'outils de pierre du moustérien permettent une appréciation cependant délicate. Il faut tenir compte de ce qu'ils se répartissent sur une chronologie beaucoup plus courte que précédemment, environ 20 millénaires. La répartition géographique des outils moustériens de tradition acheuléenne, les plus anciens, et celle des outils du moustérien laminaire terminal (type de Fontmore, Vienne), plus récents, montrent que les populations s'avançaient plus avant vers le Massif Central, remontaient davantage les vallées,

## L'homme de l'âge du renne

L'Homo Sapiens de Cro-Magnon (crâne représenté ci-contre), fortement apparenté aux races actuelles, est associé à diverses industries du Paléolithique supérieur, ou Age du Renne. Cette période connaît également la race de Grimaldi et celle de Chancelade. A droite, engins de pêche et de chasse, foënes, harpons, sagaies, aiguilles en os et outillage divers, caractéristiques (fouilles L. R. Nougier et R. Robert).





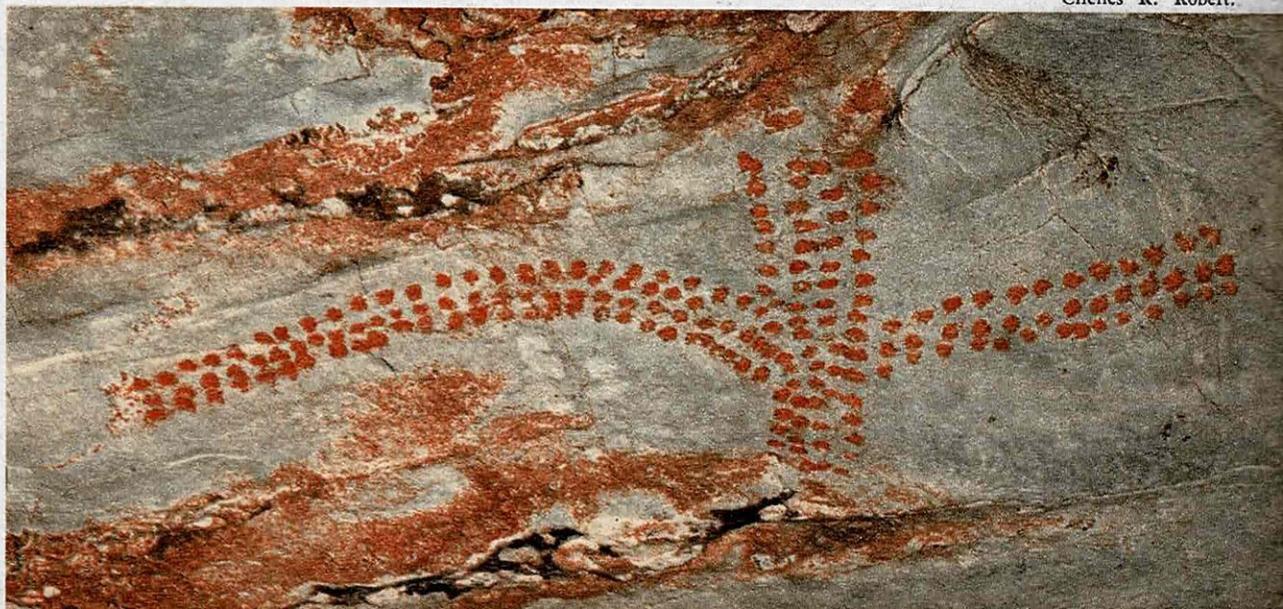


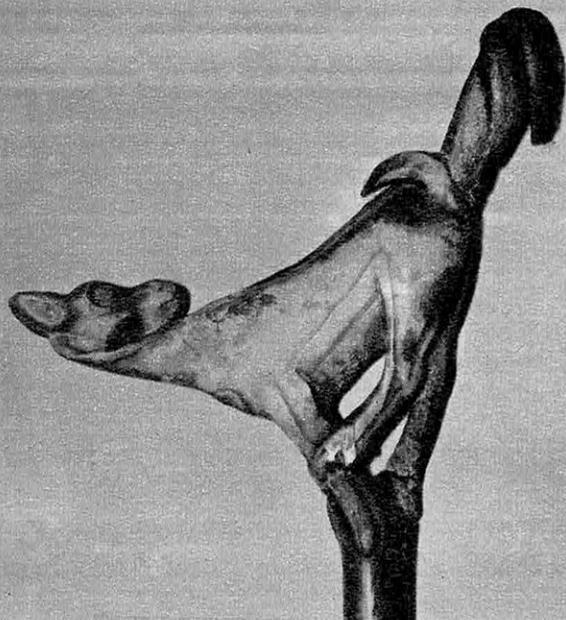
## La primauté artistique de l'Occident

L'art est né en Occident, dans les âpres paysages des Pyrénées et des Cantabres, dans les cavernes du Périgord et du Quercy, que hantaient le renne, le bison et le cheval. Témoins ces peintures polychromes de la grotte de Lascaux (photo ci-contre et ci-dessus), située dans le bassin de la

Dordogne, et de la grotte du Castillo (photo du bas), sur la côte nord de l'Espagne. Ces peintures se situent vers 20 000 à 15 000 ans avant notre ère. Ce n'est qu'à l'époque contemporaine que l'Occident reprit sa seconde primauté, après avoir été détrôné, au Néolithique, par l'Orient.

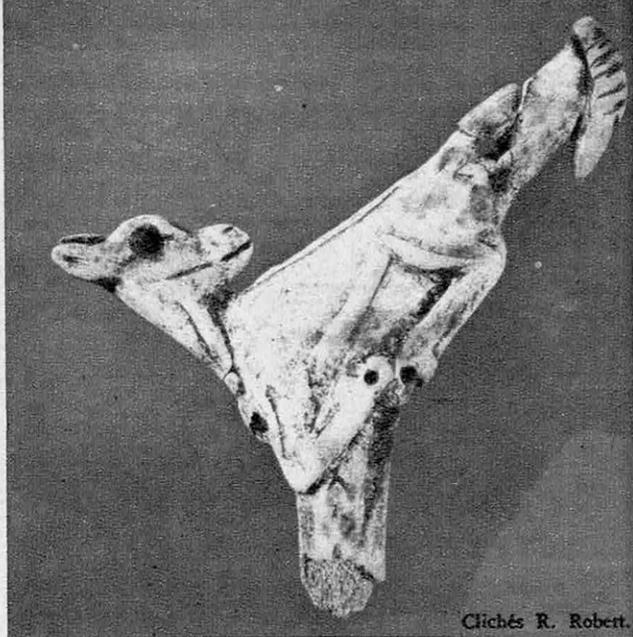
Clichés R. Robert.





**Deux têtes de propulseurs**, sculptées, qui doivent être de la même école, bien que trouvées en des lieux différents. A gauche, le « faon aux oiseaux », découvert par les St. Just-Pequart au

occupaient des sites d'altitude plus élevée, que l'adoucissement passager du climat (une des phases tempérées de la glaciation de Wurm) rendaient habitables. Le monde connu par les néandertaliens est encore insuffisamment prospecté pour permettre l'estimation de sa population totale. Il semble raisonnable de l'évaluer provisoirement entre le demi-million et le million.

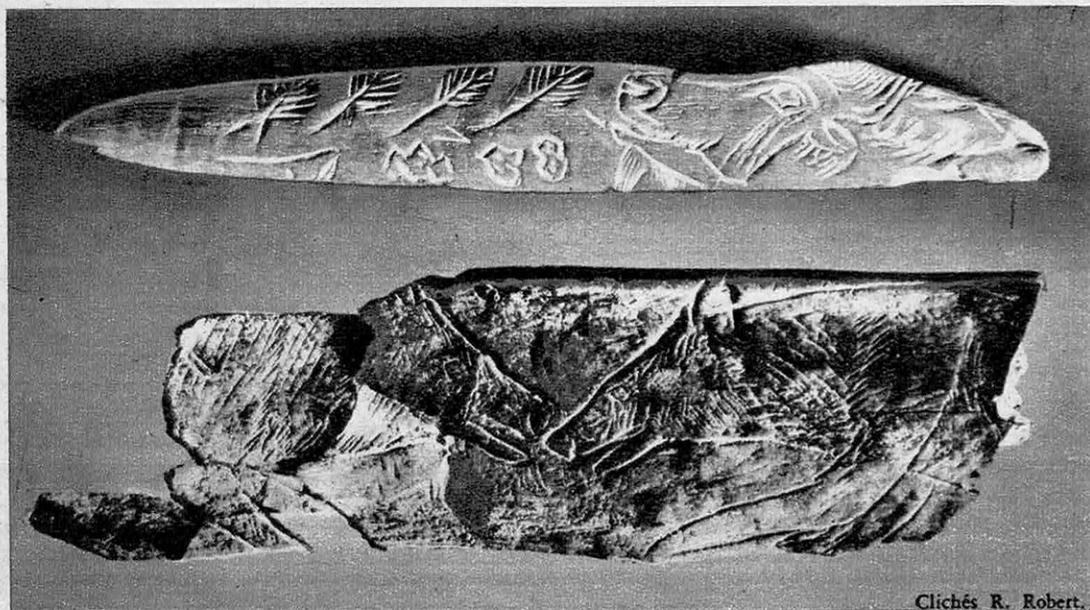


Clichés R. Robert.

Mas d'Azil, dans l'Ariège. A droite, le « faon à l'oiseau », provenant des fouilles de Romain Robert, à Bédéilhac, en Ariège. Ces œuvres d'art sont remarquables par la finesse de leur exécution.

### Le triomphe de l'Homo Sapiens

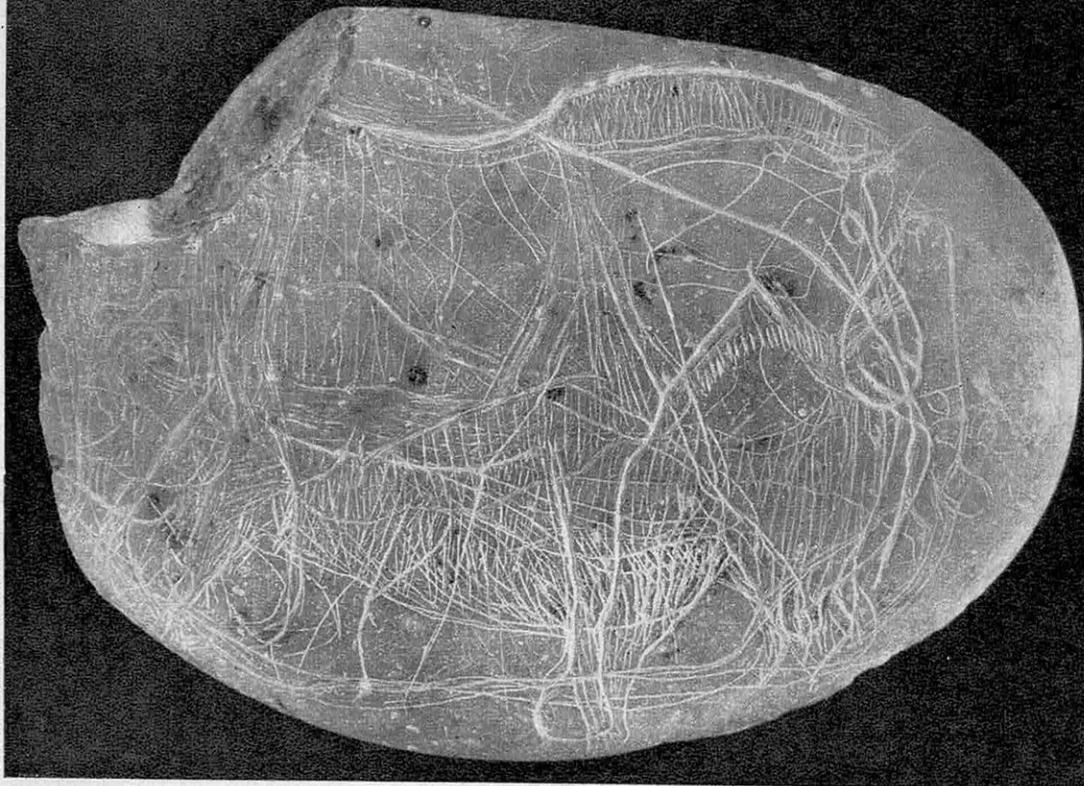
Le passage des industries à éclats, type moustérien, aux industries à lames du Paléolithique supérieur, qui nous font entrer dans le « leptolithique », la période de la « pierre légère » pour reprendre une expression heureuse et imagée de l'abbé H. Breuil, est un des tournants essentiels de l'histoire de l'hu-



Clichés R. Robert.

**Les artistes animaliers**, au Paléolithique supérieur, gravaient indifféremment sur os, sur galet, sur argile, sur les parois des grottes, etc. Ci-dessus, deux gravures sur os de la grotte de

La Vache (Ariège), découvertes par Romain Robert. En haut, lissoir avec une tête de bison; en bas, deux têtes de loups plus généralement connus sous le vocable « les loups affrontés ».



**Galet « magique »** gravé, découvert à La Colombière (Ain) par le professeur H.-L. Moviüs en 1948. Les gravures superposées semblent cor-

respondre aux divers animaux que le chasseur, possesseur du galet porte-bonheur, demandait au sorcier de dessiner pour une chasse fructueuse.

manité. La découverte du débitage du silex en lames et lamelles augmente encore le rendement de la taille : un bloc de silex de 1 kg livre maintenant 25 lames et, au total, 5 m de tranchant utile. Cette transition est graduelle.

Transition également sur le plan climatique : avec la décrue glaciaire, le climat conserve sa « dominante froide », mais avec des avancées et des reculs. Vers la fin de la glaciation, le climat est plus sec, plus « steppe ». Les grandes espèces animales, mammoth, rhinocéros tichorhinus, sont toujours présentes, mais l'espèce la plus caractéristique est le renne. Il est accompagné d'une faune de toundra : bœuf musqué, glouton, renard bleu, lemming, hibou des neiges. La faune plus tardive de steppe froide comprend l'antilope saïga, le spermophile, la gerboise. Les espèces montagnardes : chamois, bouquetin, marmotte, descendent vers les plaines où les grands ruminants, bison et renne, dominent toujours.

L'Homo Sapiens, dont on avait perdu la trace pendant la glaciation de Wurm, réparaît ; les Néandertaliens s'effacent. Les nombreux fossiles humains de cette époque sont fortement apparentés entre eux et à l'homme moderne. Ils sont de trois types essentiels : la race de Grimaldi, la race de Cro-Magnon et la race plus récente de Chancelade.

La plus représentative est celle dite de Cro-Magnon, du nom du gisement de Dordogne où les premiers squelettes furent trouvés en 1868 ; en fait, elle est très répandue tant en France qu'en Belgique, Allemagne, Moravie et même Algérie. C'est une race robuste, de très haute stature (1,87 m en moyenne) avec un crâne dolichocéphale de forte capacité (1 590 cm<sup>3</sup> pour l'Homme de Cro-Magnon). Certains de ses caractères se sont maintenus pendant tout le Néolithique et semblent se retrouver encore aujourd'hui en divers points d'Europe (Suède, Allemagne, Espagne), en Afrique du Nord et aux îles Canaries.

La race de Grimaldi (localité italienne proche de Menton) est de taille plus petite (1,56 m pour un adolescent de 15 à 17 ans), mais le crâne est fortement dolichocéphale et de grande capacité (1 580 cm<sup>3</sup>). On a voulu reconnaître sur ces restes des traits « négroïdes » qui ont suggéré des rapprochements avec les Boschimans ou les Hottentots. Mais nombre d'anthropologistes y voient seulement une variante de la race méditerranéenne qui habite actuellement le sud de l'Europe.

La race de Chancelade caractérise la phase la plus tardive du Leptolithique, le Magdalénien. Le squelette découvert dans l'abri de Chancelade, près de Périgueux, est celui d'un homme de 35 à 40 ans, de petite taille



(1,60 m), au crâne fortement dolichocéphale et d'une capacité considérable, 1 710 cm<sup>3</sup>, supérieure à la moyenne des crânes actuels, même européens. On a d'abord rapproché cette race des Esquimaux, mais on convient aujourd'hui qu'il s'agit d'une simple variante du type de Cro-Magnon.

### La vie de chasseurs et pêcheurs

Sans doute est-ce le genre de vie qui caractérise ces derniers 20 000 ans avant notre ère. L'homme du leptolithique est, autant qu'il le peut, un troglodyte et surtout un grand chasseur et pêcheur.

Les grottes habitées sont de plus en plus nombreuses ; certaines, comme la Ferrarrie, le sont depuis le Moustérien froid. Les cartes qu'on a pu dresser des habitats au Leptolithique et celles des auréoles Jurassiques et Crétacées se superposent parfaitement. Les escarpements calcaires de la Charente, les rebords de surplombs continus de la Vézère et de ses affluents, les grottes plus profondes de la région pré-pyrénéennes jalonnent les trois grandes aires de peuplement. L'homme y mène une existence relativement sédentaire ou les utilise au moins comme relais temporaires. A la saison des chasses, entraîné à la poursuite des hordes de rennes, des troupeaux de bisons ou de chevaux, il sait s'abriter sous des tentes de peau à double paroi. Dans les vastes plaines alluvionnaires, dépourvues d'abris naturels, il construit des cabanes de rondins, longues, enfouies en terre.

Renne, cheval et bison sont ses principaux gibiers, mais il recherche toutes les espèces, même les oiseaux rapides et les poissons des rivières. L'arsenal du chasseur magdalénien, tel qu'on l'a retrouvé dans la grotte de la Vache, en Ariège, comprenait de nombreux engins, merveilleusement adaptés à leurs emplois divers : pointes de silex, flèches en os, sagaies simples ou complexes, harpons à grandes barbelures...

Le Magdalénien possède même le « propulseur », véritable rampe de lancement pour

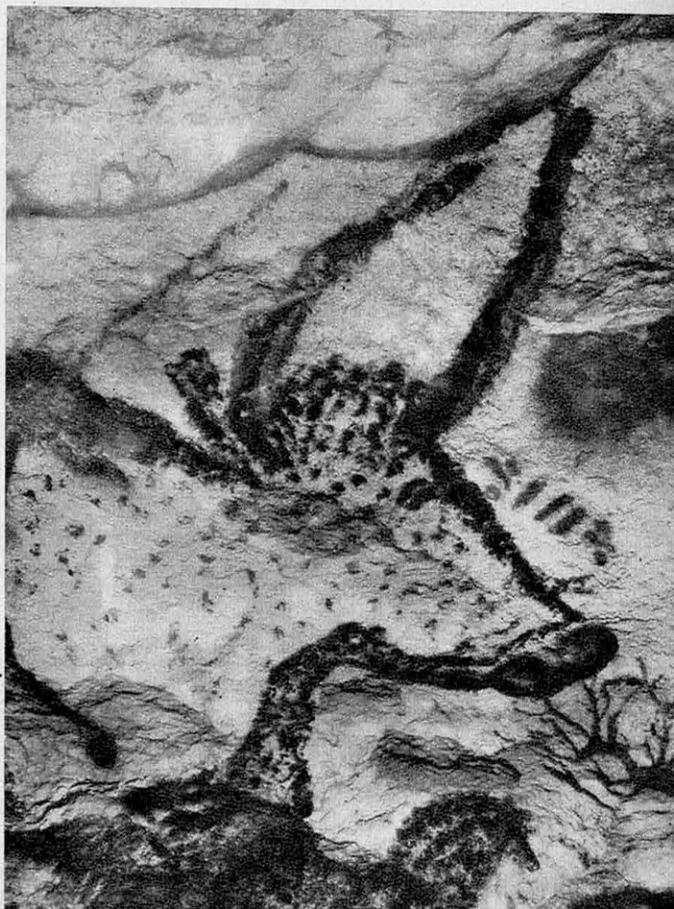
traits légers. Il sait aussi utiliser les pièges, les fosses, creuser des entonnoirs à épieu central, construire des pièges à contrepoids analogues à ceux des Indiens Pieds-Noirs d'Amérique ; on les voit figurés sur les parois de la caverne de Font-de-Gaume, en Dordogne. Il pratique la grande chasse collective, raisonnée et systématique... La pêche dans les eaux vives apporte d'appréciables compléments : saumon, truite, brochet. Ils figurent eux aussi dans l'iconographie quaternaire, au Pech-Merle de Cabrerets en Quercy, ou à Niaux, dans l'Ariège. Les vertèbres de saumon forment d'originaux grains de colliers. L'Homo Sapiens devient coquet.

### L'expansion humaine au leptolithique

En Périgord, au Paléolithique supérieur, le moindre trou de rocher, si difficile d'accès fût-il, a été occupé. L'impression générale est celle d'un peuplement relativement serré, utilisant au maximum les ressources locales. La pression démographique déjà notée à la fin du Moustérien semble s'accroître nettement. Les progrès décisifs des techniques de chasse et de pêche, le remarquable développement de la magie et de l'art, supposent de multiples contacts humains, des échanges constants d'engins et d'idées. Les chasseurs du Magda-

← **Le bison**, richesse suprême du chasseur, comblant ses besoins en nourriture, vêtements, armes, outils, fut la hantise de l'homme préhistorique. Il est représenté dans de nombreuses grottes. Ci-contre, bisons du Portel (Ariège).

**Tête de bovidé** et cheval de la grande salle de la grotte de Lascaux, près de Montignac-sur-Vézère (Dordogne). Cette peinture, comme toutes celles du paléolithique, prouve la grande diversité d'inspiration des premiers artistes animaliers.





**Cheval en pointillé** et main droite négative de la grotte de Cabrerets, dans le bassin du Lot.

**Cheval envoûté** de Niaux. Ce dessin, comme beaucoup de cette grotte, a une explication magique.





Clichés R. Robert.

**Bison polychrome** de la grotte d'Altamira, province de Santander, sur la côte nord espagnole.

**Bison et bouquetin** du salon noir de la grotte de Niaux. Peinture du Magdalénien final.



Clichés R. Robert.



Cliché Saint-Just Pequart.

**Sépulture mésoolithique** d'un adulte et d'un enfant, avec entourage caractéristique en

bois de cerf. Fouilles effectuées par Marthe et Saint-Just Pequart dans l'île de Hoëdic (Morbihan).

lénien final de Fontalès, sur les rives de l'Aveyron, possèdent tout l'arsenal pyrénéen que les importantes fouilles de la Vache, dans l'Ariège, nous ont fait connaître, ce qui démontre l'existence de rapports directs entre les rives de l'Ariège et celles de l'Aveyron.

Dans le riche domaine pyrénéen, on peut légitimement parler d'une « Ecole d'art », qui répand ses propulseurs sculptés, avec un thème animalier original, sur toute l'étendue de la chaîne. La similitude des thèmes sup-

pose des contacts entre les artistes créateurs, une densité de population déjà importante et des déplacements.

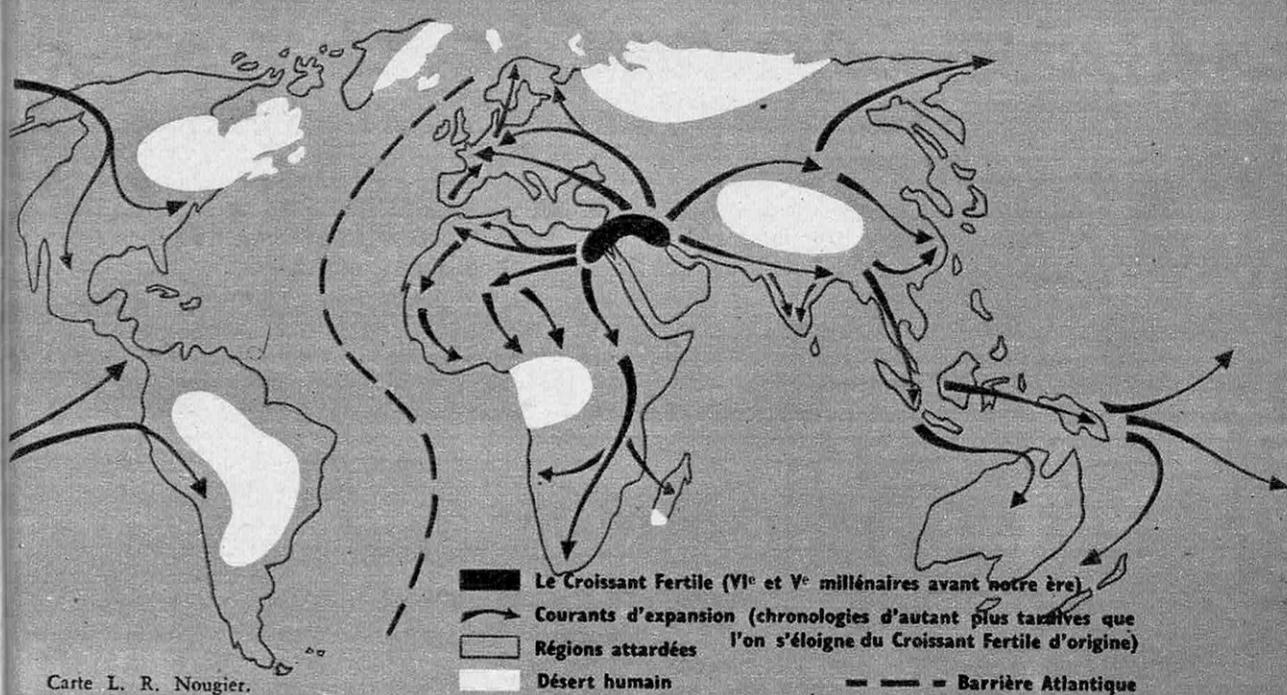
Notons enfin qu'un gisement du Paléolithique supérieur n'est jamais isolé. On décèle de petites régions particulièrement riches et denses : secteur des Eyzies, région de Brive, de Cabrerets, de Teyjat, de Bruniquel, de Tarascon-sur-Ariège, de Nemours, d'Arcy-sur-Cure. Les grottes ornées de la grande aire qui couvre la partie méridionale de la France et le nord de l'Espagne se concentrent de même en petites régions. Il semble bien que ces civilisations leptolithiques que l'on désigne sous les noms de Périgordien, Aurignacien, Solutréen, Magdalénien, avec leurs aspects archéologiques et artistiques particuliers, soient nées dans cette partie du monde occidental d'où elles ont rayonné.

L'expansion magdalénienne est la plus frappante. Cette grande civilisation de chasseurs, largement épanouie en Occident, en particulier en France et en Espagne, se ré-



Cliché Cintract.

**La race mésoolithique** du littoral breton (îles de Tévéc et de Hoëdic) se caractérise par une face large et basse, avec des orbites rectangulaires, et s'apparente à la race de Chancelade.



Carte L. R. Nougier.

**La vague néolithique mondiale.** A cette période, il est possible de parler de véritable colonisation à la fois culturelle et démographique.

pand après la dernière glaciation dans les grandes plaines du nord de l'Asie. Elle apparaît plus tardivement, sous une forme nettement apparentée, en Angleterre (le pas de Calais est alors un isthme de 400 km) et au Danemark. Au-delà de l'Oural, au nord des grandes rides montagneuses asiatiques, autour du lac Baïkal, existent des gisements à nets caractères leptolithiques, les rattachant à nos grandes familles archéologiques occidentales. L'« inversion de Behring », c'est-à-dire la transformation momentanée du détroit en un vaste isthme, prolonge les vastes territoires de chasse sibériens vers les terres d'Alaska ; les chasseurs leptolithiques foulent un nouveau continent. Les sites archéologiques de Sandia, de Folsom, en Amérique du Nord, recèlent les traces des premiers occupants du Nouveau Monde. C'est vers 12000 ou 10000 avant notre ère que l'Amérique reçoit ses premiers habitants.

Le monde africain, qui a toujours constitué un refuge pour les espèces et les civilisations attardées, que l'on y rencontre longtemps après qu'elles ont disparu du reste des terres, voit le conflit des influences leptolithiques et des civilisations à éclats qui survivent. L'Afrique fait figure de continent « colonisé ». La

L'aire de départ de la civilisation néolithique est constituée par le « croissant fertile » : régions de plaines s'étendant de la vallée du Nil à l'Indus.

civilisation « capsienne » (de l'antique Gafsa, près de Tebessa) a vraisemblablement dix millénaires de retard sur la civilisation européenne à laquelle elle s'apparente.

Ces expansions, ces retards, rendent très délicate l'appréciation de la population. Elle est permise pour une région limitée. En Gaule, elle serait de l'ordre de 50 000 habitants, peut-être plus. Pour l'Espagne, L. Péricot envisage au maximum un demi-million d'habitants, chiffre qui semble trop élevé. Si les cartes des stations donnent des aires denses, combien d'étendues sont vides, à peine parcourues ! L'accroissement de la population, par rapport aux périodes précédentes, s'il demeure délicat à apprécier, n'en est pas moins net.

Cliché Cintract.



**Radiographie de pointe** de silex fichée dans les vertèbres d'un des hommes mésolithiques de Tévéc; c'est la preuve la plus ancienne que l'on possède des combats entre êtres humains.

## La primauté artistique de l'Occident

Sur l'argile encore molle qui tapisse les parois de la grotte de Gargas, dans les Pyrénées, du Castillo, d'Hornos de la Pena ou d'Altamira, dans les Cantabres, de Cabrerets, dans le Quercy, l'Homo sapiens a, peut-être par hasard, ce hasard « miraculeux » qui a dû jouer tant de fois en faveur de l'humanité primitive, promené ses doigts et ses mains. Pour la première fois, il constate que son doigt laisse un sillon, que cette trace lui suggère une forme connue, croupe d'animal, silhouette de grand cerf ou ébauche massive de mammouth. L'art est né.

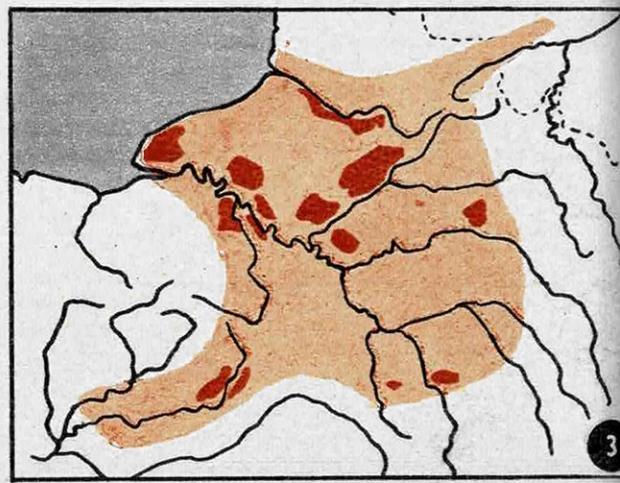
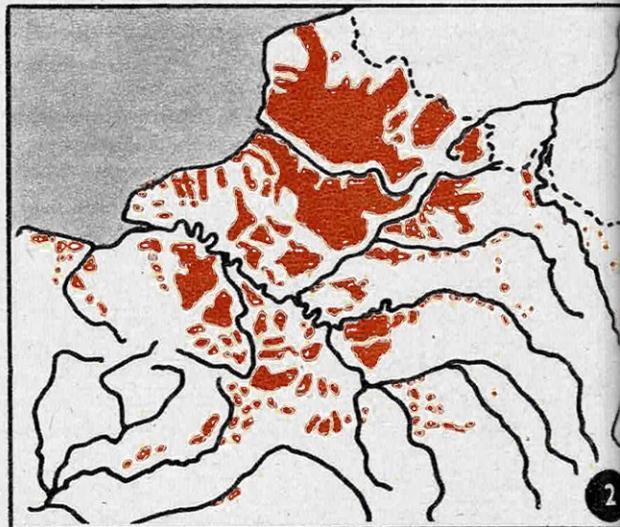
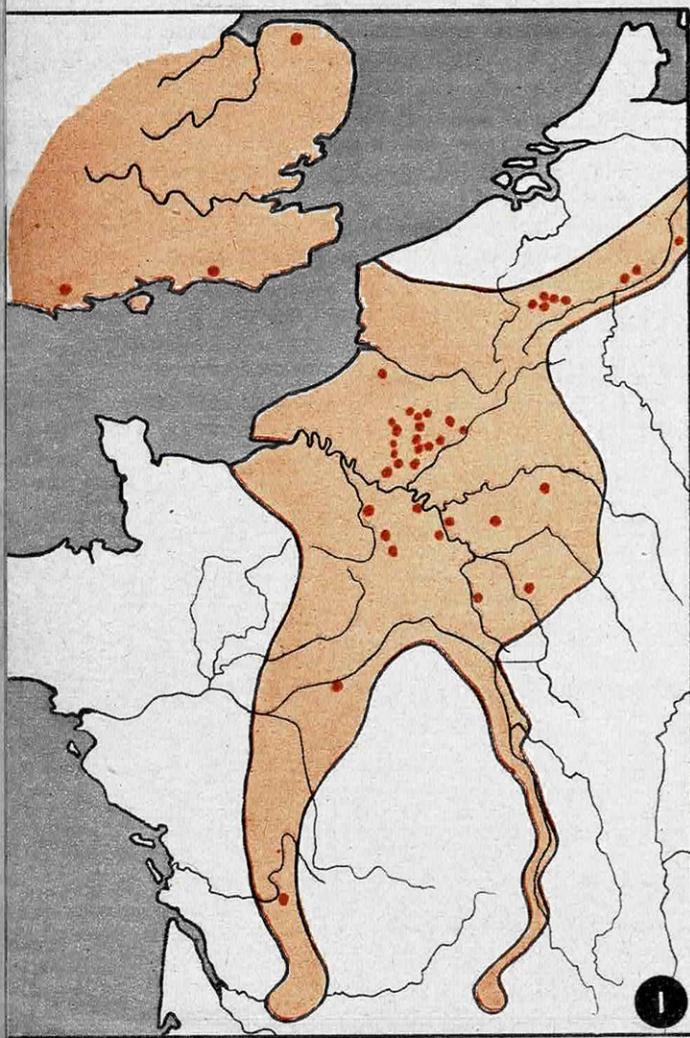
Pour une âme primitive, le fait de modeler l'argile ou de tracer sur une paroi la silhouette de l'animal convoité, correspond à une véritable création. Des rites collectifs, témoignages de l'existence de tribus, s'organisent. Le cheval d'argile de Montespan se crible de cupules meurtrières pour que la chasse soit fructueuse. Les bisons de Niaux, les bovi-

dés et les chevaux de Lascaux se hérissent de flèches mortelles. Toute chasse a sa préparation magique dans les profondeurs des grottes, par delà les « chattières » et les « laminoirs ». Peintures et gravures se superposent souvent.

Animaux envoûtés, sacrifiés, massacres rituels, magie reproductrice, représentations à valeur totémique (Trois-Frères, Tuc d'Audoubert, Marsoulas, Niaux...) autant de preuves de cette magie leptolithique, déjà riche et variée en Périgord, plus riche encore dans les Pyrénées.

Les fêtes de l'O-Kié-Pa chez les Indiens Mandans, le culte des Masques Dogons dans les falaises de Bandiagara, révèlent des faits ethnographiques à mettre en parallèle avec les faits préhistoriques du Tuc d'Audoubert ou de Gargas. Leur confrontation est à la fois suggestive et explicative.

Le grand art éclate aux Combarelles, à Font-de-Gaume, au Portel, au Castillo, au Cap Blanc, à Cabrerets, à la Mouthe. Mais les sommets s'admirent à Lascaux, à Niaux, et à Altamira.



Lorsque l'on compare ces œuvres innombrables, on ne peut manquer d'être frappé de la similitude que présentent certaines d'entre elles. De véritables écoles, des ateliers devaient exister, avec des « artistes » itinérants, comme l'exige alors la vie quotidienne. Le renne broutant de Limeuil, en Dordogne, est d'une troublante parenté avec le renne broutant de Thayngen, en Suisse. Certains panneaux animaliers de Santimamine dans les Cantabres, des bisons, notamment, sont la vivante réplique des panneaux de bisons de Niaux dans les Pyrénées.

Statuettes, gravures et modelages, peintures rupestres, hauts-reliefs, objets mobiliers, galets, tous les genres, toutes les formes, tous les supports, toutes les techniques se rencontrent dans une aire géographique qui s'étend, pour la zone la plus riche, de la vallée de la Cure à l'extrémité occidentale des Cantabres. Jamais, à aucun moment de l'évolution préhistorique du globe, le monde occidental n'avait bénéficié d'une primauté artistique aussi fermement établie.

## Préludes à la révolution néolithique

Le phénomène géologique que l'on considère comme repère pour la fin du Paléolithique supérieur et l'arrivée de temps nouveaux, dits « Mésolithiques », est la bi-partition glaciaire, c'est-à-dire la séparation en deux lobes du glacier scandinave, vers le milieu du 9<sup>e</sup> millénaire avant notre ère. Le climat continue à se réchauffer, mais depuis longtemps déjà, une lente transformation de la faune et de la flore, plus lente pour cette dernière, se faisait sentir. Le fait le plus spectaculaire est certainement la remontée des rennes vers le nord. Des hordes isolées vivent longtemps dans les montagnes, Alpes et Pyrénées, refuges résiduels traditionnels. Le gisement de la Vache, au-dessus de Tarascon-sur-Ariège, archéologiquement du Magdalénien final, recèle peu de rennes, et surtout des bouquetins.

La température s'élève, avec une nette tendance continentale, jusque vers l'an 5000. La

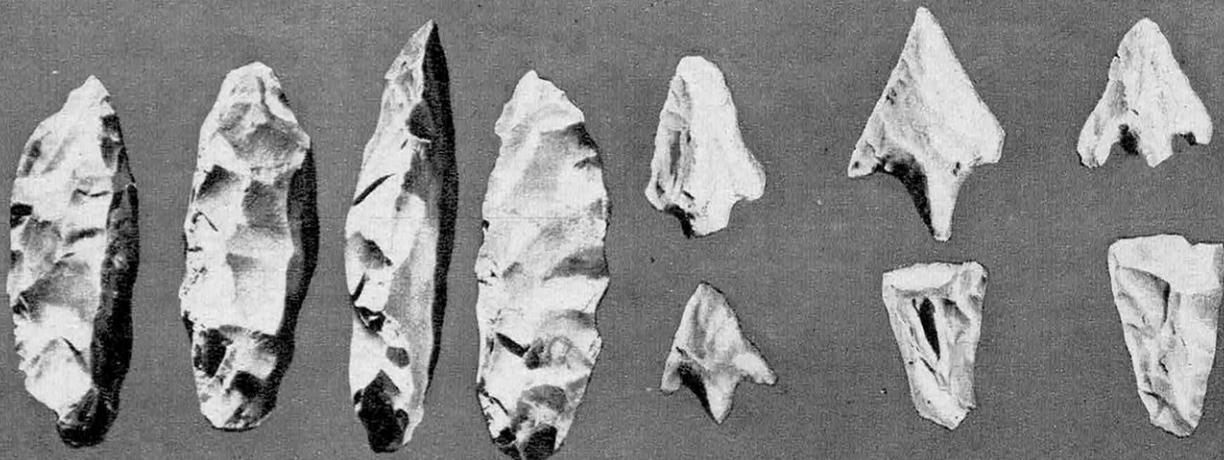
## Les gisements Campigniens ou « Civilisation du Silex »

C'est dans les plaines du loess du bassin parisien que les Campigniens devinrent les premiers paysans d'Occident. Les cartes ci-contre représentent : en (1) les loess du bassin parisien, en (2) l'aire d'occupation des Campigniens, et en (3) les puits d'extraction de silex, creusés par les mineurs campigniens pour y trouver la matière première indispensable à la fabrication de leur outillage. La photo ci-contre, à droite, de la mine de Spiennes, dans le Hainaut, montre à quel haut degré de technique minière ces hommes étaient parvenus. Au premier plan, on remarque le pilier de soutènement d'une grande salle et, au fond, l'amorce d'une galerie d'exploitation. Cette « Civilisation du Silex » dure du début du Néolithique jusqu'à l'Âge de Bronze.



Dessins L.-R. Nougier et cliché Lefranq.

**Pies de mineurs** en silex (Spiennes) et pointes de flèche (de Touraine), de tradition campignienne.





veté de la vie humaine, un monde rural, stable et sédentaire, remarquablement « moderne », élevant des animaux domestiques, pratiquant l'agriculture, appliquant de nouvelles techniques sur des matériaux traditionnels (perforation et polissage de roches dures) ou sur des matériaux nouveaux.

Il s'agit véritablement d'une profonde révolution économique. Elle s'est étendue sur un millénaire entier, le cinquième en Orient, le quatrième en Europe orientale, le troisième en Occident, le second dans les mondes résiduels, îles britanniques et régions scandinaves. Lentement, mais inexorablement, les paysans partent à la conquête de toutes les terres du monde, chassant devant eux, refoulant ou détruisant, assimilant parfois, « néolithisant » les populations antérieures dont le genre de vie est désormais dépassé.

C'est lorsque l'humanité se fixe et se fait paysanne que son expansion territoriale est la plus forte. L'accroissement démographique oblige l'homme à demander davantage de ressources à la terre, à entreprendre pour la première fois une exploitation intensive, et là est l'explication des progrès techniques.

Cette « néolithisation » ne s'accomplit pas sans lutte. Le paysan se heurte au chasseur, puis au pasteur. La garde du champ cultivé provoque des luttes. La prolifération humaine rend enfin les combats et les guerres inévitables, alors que les temps paléolithiques, avec des densités humaines infimes, sont certainement des périodes pacifiques.

### Le berceau de la révolution néolithique

L'origine de la nouvelle économie néolithique se situe vers le « croissant fertile » dans la région en forme d'arc, qui va de la riche plaine du Nil à celle de l'Indus, à travers la Mésopotamie. Lors d'une phase préparatoire, les pasteurs des plateaux dominent ces plaines, refoulés par un dessèchement climatique général (en relation avec l'ultime résorption glaciaire en Europe), réfugiés dans les vallées et les oasis irriguées. Pressés par la nécessité de vivre, concentrés par leur exode, ils accélèrent, lors d'une phase décisive et courte, la révolution qu'exige leur nouveau cadre.

En Palestine, les Natoufiens cueillent au moins, s'ils ne les cultivent point, le blé, le seigle et l'orge, qui croissent naturellement. Ils utilisent les premières faucilles, petites dents de silex, lustrées par l'usage, insérées dans des manches en os. Ces manches — ils seront en argile, en Mésopotamie — ne sont pas sans évoquer la mâchoire d'un ruminant, et les ruminants abondaient, chassés avant d'être domestiqués.

Le chien, le premier animal domestique, est

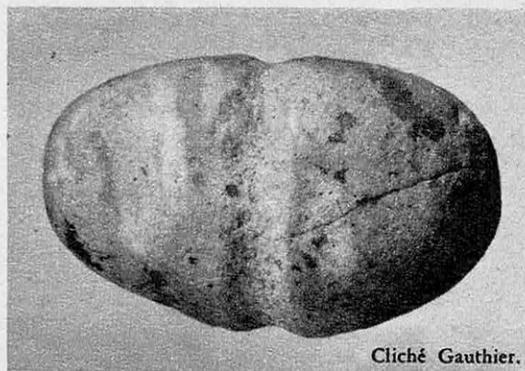
là. La céramique naît lors de la descente des peuples pasteurs vers les vallées et les plaines tapissées d'argile. Les premiers vases seront globulaires, à l'instar des gourdes de cuir qu'ils copient encore. Le paysan mésopotamien chasse encore avec des frondes, des flèches et des masses en pierre ; il pêche avec des lignes et des poids, des harpons, dans des barques à proue et poupe élevées comme celles que l'on voit aujourd'hui sur l'Euphrate. Mais les haches de pierre en roches dures, piquetées et polies, les ciseaux et les herminettes, les armatures de faucille en silex, les meules et les broyeurs sont les nouveaux outils agricoles, dont la forme se transmettra souvent jusqu'à nous.

Les pasteurs, chassés du Sahara par la sécheresse du climat, défrichèrent les plateaux du Nil à la hache. Des rebords des plateaux dévastés, les hommes descendirent dans les limons, grattèrent le sol avec la houe de bois courbé, créant la civilisation agricole du Fayoum qui date de 4300 avant notre ère. Nous sommes à l'origine du véritable Néolithique méditerranéen, dont il est possible de suivre les traces le long de la Méditerranée, jusqu'en Espagne, puis en Occident.

De ce grand croissant à cheval sur l'Afrique et l'Asie, la révolution néolithique s'étend au monde. D'île en île, apportée par une navigation heureuse et audacieuse, elle s'étend aux immensités du Pacifique et atteint l'Amérique centrale et méridionale. Une autre vague, partie des plateaux iraniens, gagne les plaines sibériennes, « néolithisant » des civilisations attardées, reprenant enfin la route de Behring pour gagner le Nouveau continent par le nord.

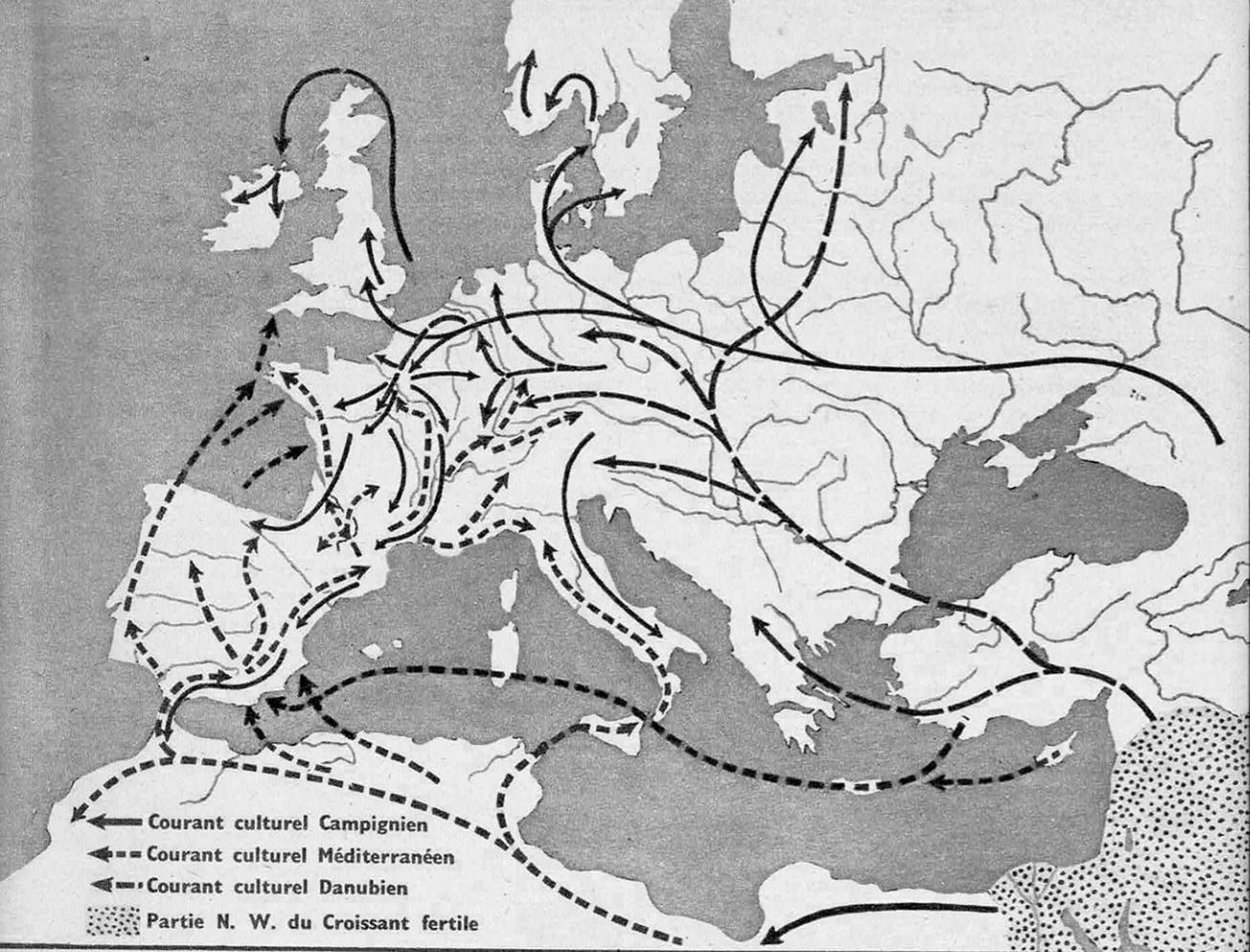
### L'expansion néolithique européenne

L'Europe est le continent le mieux connu, le plus disséqué par les archéologues. Débutant aux 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> millénaires, s'épanouissant



Cliché Gauthier.

**Gros maillet** en pierre, avec rainure, pour faciliter l'emmanchement, trouvé dans les exploitations et les mines de cuivre méridionales.



**Les trois courants civilisateurs** en Europe au troisième millénaire avant notre ère.

au cours du 3<sup>e</sup>, la néolithisation européenne est chose faite vers l'an 2000 avant notre ère. De l'étude des multiples cultures, il est possible de dégager certains axes de colonisation : l'axe nord-européen campignien, l'axe danubien, l'axe méditerranéen.

Issu peut-être des civilisations sans céramique d'au-delà du Caucase, l'axe nord-européen prend son origine dans les grandes plaines du sud de l'Europe orientale, entre le Dniepr et la Volga. Les gros outils à utilisation forestière, indispensables pour le travail du bois, apparaissent parallèlement à l'extension forestière qui occupe les espaces abandonnés par les steppes bordant les glaciers en recul. Sur la côte sud de la Baltique, empruntant le pédoncule danois, s'installent des populations qui associent les tranchets de silex à leur outillage microlithique traditionnel. Vers l'ouest, les Pré-Campigniens d'Aubel, en Belgique, abandonnent les microlithes pour utiliser exclusivement un outillage massif de silex, adapté au défrichement et aux premières cultures : tranchets, pics, grosses pièces « unifaces », rabots... A la fin du 4<sup>e</sup> millénaire et

au début du 3<sup>e</sup> dans le Bassin Parisien, les Campigniens deviennent les premiers paysans d'Occident. Leur faune domestique, connue d'après le gisement de Montières, comprend le chien, le petit bœuf et peut-être le sanglier. Meules, broyeurs et « tranchets-faucilles » attestent la récolte des céréales. Une poterie indigène est connue. Les paysans campigniens atteignent la Loire, qu'ils dépassent en Touraine, en direction du seuil du Poitou. Par l'Est, par le Sud, viennent se superposer de nouvelles influences, apportant des techniques méditerranéennes nouvelles : le piquetage et le polissage des roches dures pour la fabrication des haches, une domestication plus poussée (ajoutant le mouton et la chèvre), de nouvelles formes céramiques importées. Le vieux fond campignien avec sa hache de silex taillé typique évolue sur place et donne le Néolithique de tradition campignienne. L'expansion démographique emprunte le seuil du Poitou, les vallées de la Saône et du Rhône, débarque en Angleterre (Windmill Hill), colonise l'Irlande et occupe plus tard les côtes scandinaves.

Originaires de la Mésopotamie, par les routes encore mal connues de l'Asie Mineure et de la Mer Noire, les Danubiens suivent le grand fleuve. Ce sont des paysans itinérants, recherchant de nouveaux territoires, lorsque les champs sont épuisés. Ce sont les grands cultivateurs du loess d'Europe centrale, portant avec eux une céramique à décor rubané et de forme globulaire. Par delà le massif schisteux rhénan, une brève incursion les conduit en Hesbaye, où ils implantent de nombreux villages agricoles, les villages omaliens. Vers l'Ouest, ils essaient quelques villages de pionniers dans les régions de la Seine, de l'Yonne, de la Marne, de la Loire. Les terres agricoles se raréfient déjà, les formes guerrières de l'outillage se développent dans les civilisations dites des « haches de combat », lesquelles adopteront le cuivre dès qu'elles en auront la possibilité.

Issue du Néolithique égyptien, la vague méditerranéenne parcourt le littoral du Maghreb et les îles méditerranéennes, constitue en Espagne méridionale de véritables têtes de pont. Les civilisations avec céramique à impressions cardiales (le cardium est un petit coquillage, imprimé sur la pâte encore fraîche) occupent la Catalogne, franchissent le seuil pyrénéen de Cerbère et jalonent les côtes languedociennes et provençales. La céramique lisse, à pâte bien cuite, sonore, développée dans la civilisation des « sépultures en fosses » de la

Catalogne, gagne également vers le Nord. Elle caractérise les plus anciennes occupations néolithiques de nos grottes des Pyrénées du Sud, du Massif central et du Languedoc. Par la vallée du Rhône, cette céramique lisse remonte le couloir suisse pour y prendre le nom, sous lequel elle est le plus connue, de céramique de Cortaillod. C'est là que se constitue la civilisation complète et originale des palafittes, des constructions lacustres sur pilotis, adaptation locale néolithique à des conditions géographiques bien particulières. Par la côte ligure, les établissements pastoraux et agricoles gagnent l'Italie, occupent les grands lacs alpestres, néolithisant parfois des populations locales utilisant encore un outillage microlithique périmé. Dans toute l'Europe occidentale, la céramique de Cortaillod joue un rôle essentiel, au point qu'elle est parfois désignée sous le nom de « céramique occidentale ».

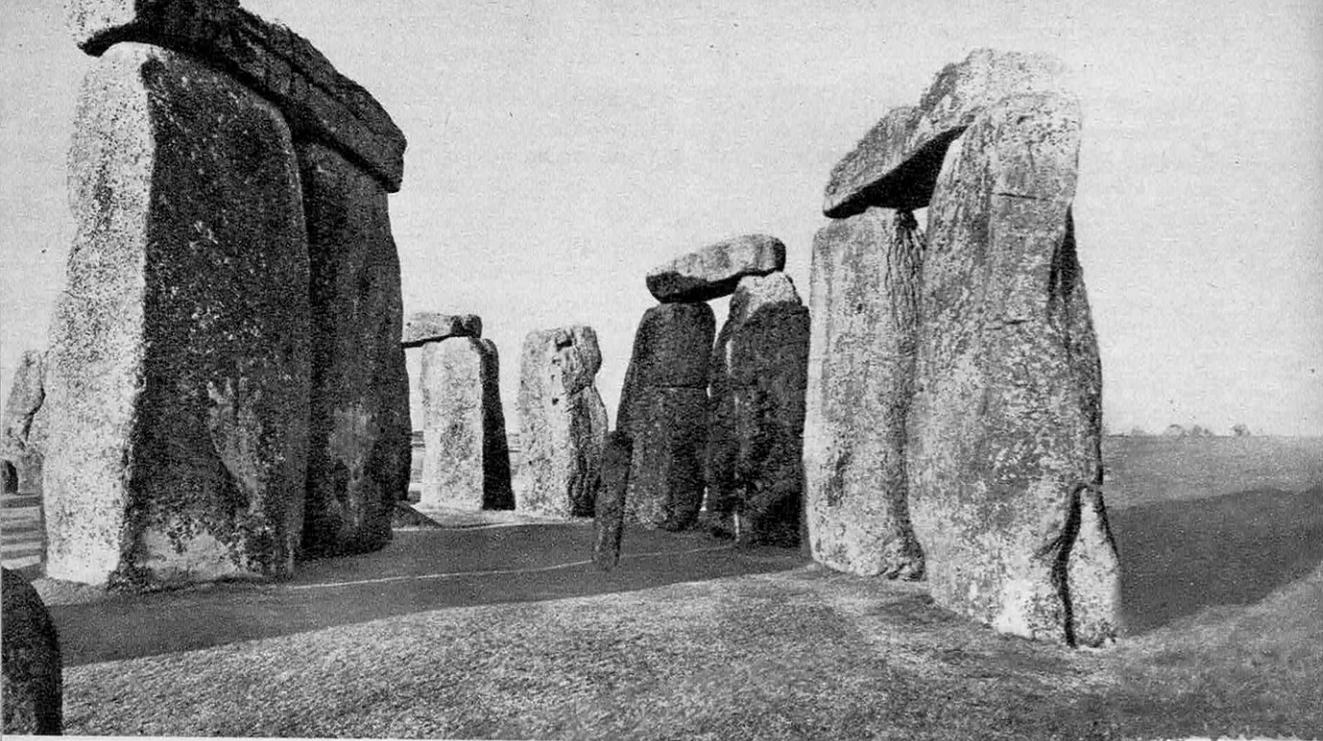
### Le cuivre : première substitution de matériau

Aux environs du 4<sup>e</sup> millénaire avant notre ère, le Proche-Orient connaît la vogue, très lente au début, d'un matériau nouveau, le cuivre. Son usage est d'abord exceptionnel et le métal est traité comme la pierre, martelé. Les premiers objets de cuivre d'Erech, en Mésopotamie, sont des pointes de flèches à pédoncule et barbelures, exactes copies en métal des



Cliché P. Darasse.

**Grand dolmen** du Midi languedocien, de la région de Vaour, dans le Lot-et-Garonne.



**La fin du Néolithique et l'Age du Bronze** correspondent à l'ère des « grands tom-

beaux », tombeaux dolméniques, menhirs, etc. Ci-dessus, l'intérieur du monument de Stonehenge.

modèles de silex. Les formes des premiers objets métalliques, alènes, haches, faucilles, restent celles des prototypes de pierre ou d'os. Il ne s'agit que d'une simple substitution de matériau. L'outillage en pierre restera en usage jusqu'à l'époque historique dans les milieux modestes, et le paysan gallo-romain râclera encore des peaux et des bois avec des éclats de silex, silex d'autant plus informés que les belles et savantes techniques de taille se seront perdues.

Avec le cuivre, apparaissent insensiblement d'autres nouveautés, plus importantes que le métal lui-même : le four de potier, le tour de potier, la roue. Celle-ci permet enfin le char, char de commerce ou de guerre. Avec le cheval, enfin domestiqué, la plus noble conquête de l'Homme et la plus tardive, une opposition majeure se développe entre le paysan poussant l'araire avec un attelage de paysans comme lui ou un attelage de bœufs, et le cavalier à la monture rapide.

Tout se passe désormais comme si, au monde rural néolithique, fait de paysans besogneux, attachés à la glèbe, venait se superposer, en le subjuguant, une véritable aristocratie nouvelle, mercantile et guerrière. L'apogée de cette domination aura lieu aux époques proches du Bronze, et nous serons en pleine histoire orientale.

Le Néolithique avait apporté la grande révolution économique et démographique : le métal apporte la révolution sociale, le passage des clans aux Empires.

Par la Méditerranée et le Danube, l'Occident connaît le cuivre et exploite ses gisements autochtones, sans dédaigner pour autant les grands gisements de silex de Touraine (région du Grand Pressigny) ou les gisements de Provence exploités aux maillets de pierre. Le matériel de pierre, méditerranéen et campignien, subsiste. Seules les formes céramiques changent.

L'évolution se précipite. L'ère des grands travaux publics est née : canaux d'irrigation ou de drainage, puits et mines pour l'extraction industrielle du silex, construction de temples et de tombeaux.

Mais l'Occident est par excellence la terre des mégalithes. Des masses humaines, encadrées, aux efforts coordonnés, sont nécessaires pour dresser ou rouler les grands monuments de Bretagne. Ce rituel mégalithique gagnera le monde, l'Europe, l'Asie, la Polynésie, l'Amérique méridionale, avec des monuments de date de plus en plus récente.

### Les derniers millénaires

L'humanité, avec l'écriture, entre dans l'histoire. Les hommes prennent vite la place des faits, ils créent l'événement. On accorde désormais plus de place à Alexandre, à César ou à Napoléon qu'aux civilisations mêmes.

De l'Asie mineure, vers le milieu du second millénaire avant notre ère, les conquérants, porteurs du fer, passeront par le grand cou-

loir, entre mer Noire et Caspienne, pour se déverser en Europe orientale, gagner l'Europe centrale par les Balkans, rejoindre par les îles et la botte italienne la voie doriennne. En 900, le fer sera parvenu en Gaule. Les épées conserveront longtemps leur poignée de bronze, en adoptant la lame de fer. Ces poignées sont décorées richement, incrustées d'or, d'ambre et de fer.

Il suffira de deux mille ans pour que les Tasmaniens, les Boschimans, les Fuégiens, les Eskimos, populations résiduelles aux genres de vie préhistoriques, connaissent les derniers « bienfaits » de la Civilisation du Fer.

Quelques dizaines d'années seulement suffiront pour transmettre au monde le moteur à vapeur ou le moteur à explosions. A notre époque, la T.S.F. a mis vingt ans pour s'implanter, la Télévision deux ans. Le monde arrive à l'uniformité technique.

### L'avenir de l'humanité

L'Homme est ainsi l'aboutissement d'une longue, très longue évolution. Il est trop évolué pour être encore l'objet de changements brusques. Le pouvoir évolutif d'une espèce, et l'Homo Sapiens est une espèce comme les autres, est limité. Et ce sont généralement des formes les moins spécialisées que naissent les formes nouvelles. Le « phylum » humain pourrait fort bien avoir son pouvoir évolutif presque épuisé. Des faits nouveaux ne pourraient-ils le réveiller dangereusement ? La question n'a pas reçu de réponse nette, mais elle préoccupe le monde savant.

Quoi qu'il en soit, des modifications lentes ne sont pas impossibles. Par suite d'une meilleure alimentation, la taille humaine a tendance à s'accroître ; les dernières enquêtes le montrent nettement. D'autre part, la prédominance des fonctions intellectuelles sur les fonctions physiques pourrait avoir des conséquences fâcheuses. Mais un solide optimisme naît des statistiques de longévité.

En 1840, la durée moyenne de la vie humaine n'avait guère progressé depuis le Néolithique ; l'homme ne pouvait espérer vivre que jusqu'à 38 ans. En 1951, l'espoir de vie est passé à 65 ans. Médicalement, biolo-

giquement, l'homme moderne est assuré d'une longue vie.

Le monde néolithique pouvait approcher des 200 millions d'habitants. En 1850, on était passé à 1 200 millions, puis à deux milliards et demi pour 1950. Les statisticiens prévoient 3 milliards et demi en 1980. Les 4 milliards d'Homo Sapiens seraient atteints en l'an 2000.

Serons-nous 128 milliards d'Homo Sapiens en 2500 ?

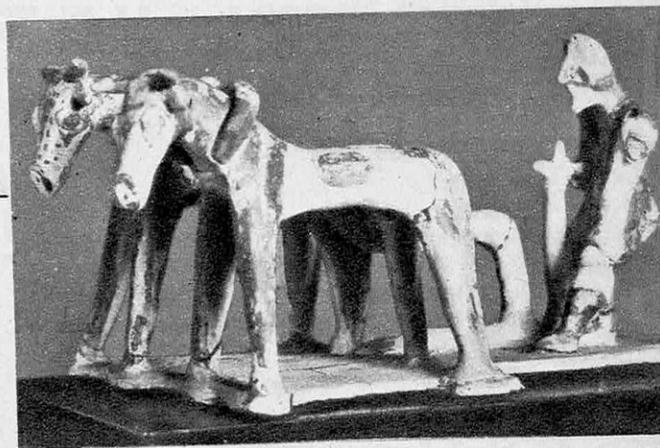
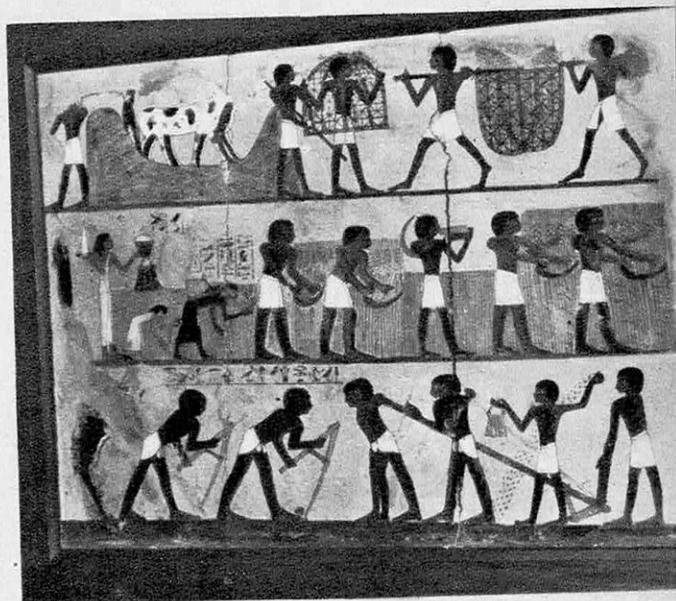
Ces chiffres sont impensables.

Le « phylum » Homo Sapiens approche-t-il de son apogée ?

L'homme est devenu maître de sa destinée. Souhaitons qu'il en prenne vraiment conscience, car c'est l'Homme qui, en définitive, décidera du sort de l'Humanité.

Louis-René NOUGIER

Professeur d'Archéologie préhistorique  
à la Faculté des Lettres de Toulouse.



### Les paysans Néolithiques

Ces œuvres artistiques du Moyen-Orient nous suggèrent la vie du monde néolithique qui vient juste de disparaître. En haut, les fellahs égyptiens coupent les tiges de blé sous l'épi et non au ras du sol. En bas, terre cuite représentant une scène de labourage en Béotie au VII<sup>e</sup> siècle avant J.-C.

# L'HOMME ASSERVIT LA NATURE

## Un bilan de ses succès et de ses erreurs

**D**E tous les êtres vivants, l'homme est le seul qui, dès ses débuts, ait essayé de comprendre les lois de la nature pour les utiliser à son profit, les modifier, au lieu de se laisser diriger par elles.

La lutte pour la vie est une loi universelle: les animaux, les plantes, combattent entre eux pour assurer leur existence. Mais ce n'est là qu'une forme d'obéissance à des règles qu'ils subissent aveuglément et dont l'application est une condition de l'équilibre général. Les loups dévorent les moutons, mais les moutons auraient pullulé d'une façon catastrophique si les loups n'avaient pas existé. Et, tant qu'il n'y a pas eu d'hommes, les moutons ont continué de se maintenir en proportion normale à proximité des loups, limités eux-mêmes par les exigences d'un espace vital qu'ils ne cherchaient pas à modifier.

On peut admettre que l'homme primitif, à la période où il était encore tout près de l'animalité, menacé de tous côtés par de redoutables concurrences, n'a pu subsister que parce qu'il tirait des rudiments de son intelligence consciente les moyens de résister à cette rivalité universelle. Il aurait sans doute rapidement succombé s'il n'avait imaginé des moyens de défense empruntés, pour la première fois, au monde extérieur.

### **Le feu, première conquête de l'homme**

Sans le feu, l'homme primitif n'eût probablement pas fait ses autres découvertes, non seulement celles qui en dérivent directement, mais aussi celles qui paraissent n'avoir aucun lien avec lui, telles que l'agriculture ou même la domestication des animaux. Aujourd'hui encore, en bien des lieux, un terrain ne devient cultivable qu'après qu'un incendie volontaire a détruit la végétation première. Au début, l'homme a pu de même constater que le sol, ainsi transformé en étendues d'abord stériles, reprenait vie peu à peu, donnait une végétation toute nouvelle, verte, tendre, facile à

cueillir et souvent comestible, au moins par ses racines molles et charnues. Cette végétation attirait, d'autre part, beaucoup d'animaux inconnus auparavant dans la forêt, constituant à leur tour un meilleur gibier, moins dangereux et de capture plus aisée. Préparer artificiellement ces herbages, y retenir les herbivores, devint une tâche fructueuse. Il en dérivait « labourage et pâturage », qui sont toujours les deux principales sources de vie de l'humanité.

La civilisation ne s'établit vraiment qu'à partir du développement agricole. Alors, les peuples chasseurs commencèrent à être dépassés, s'attardant dans une routine qui gardait le mécanisme d'un instinct, sans autres progrès que l'invention d'une flèche plus aiguë ou d'un piège plus astucieux. L'idée d'améliorer le gibier par élevage ou sélection n'apporta pas, au cours des siècles, les changements que l'on pourrait croire. Les espèces animales comestibles sont restées à peu près les mêmes jusqu'à nos jours. Au contraire, les ressources végétales furent, d'abord et longtemps, très pauvres. On n'avait recours à elles qu'à défaut de mieux, l'homme se contentant de s'alimenter de viande ne fût-elle que de reptile, de mollusque, d'insecte, ou de ver.

Il faut arriver aux temps modernes pour constater le prodigieux essor dû à une connaissance plus étendue du monde végétal.

Nous n'aurons que trop d'occasions, par la suite, de déplorer les funestes erreurs de l'homme dans son action sur la nature. Nous pouvons, dans ce domaine particulier, lui accorder une admiration sans réserve.

### **Au Moyen Age très peu de légumes étaient connus**

Laissons derrière nous le monde préhistorique, le monde antique, les premiers siècles de notre histoire. Nous voici au Moyen Age, où ce que nous appelons aujourd'hui le progrès matériel n'en est qu'à ses premiers balbutiements.



Cliché Air France, G. Boisgontier.

**Pour lutter contre le désert** dans certaines régions du Sahara, on a recours à des

cultures en entonnements pour les faire profiter à la fois de la chaleur et des nappes phréatiques.

Prenons l'exemple, à cette époque, non d'un pauvre hère, mais d'un opulent seigneur, tel que ce fastueux duc de Berry, que ses « Très Riches Heures » nous font connaître aussi vivant que s'il était parmi nous. De quels éléments ses menus étaient-ils composés ? Nous n'en finissons pas de dénombrer les viandes, venaisons et autres produits de « haute grasse » qui encombrant sa table. Mais quels légumes, quels fruits y trouvons-nous ?

C'est un étonnement de constater combien les légumes offraient peu de choix dans nos contrées, comme dans l'ensemble de l'Europe

de l'ouest et du nord. Et ceux que l'on trouve sont presque tous de médiocre qualité.

Les châtaignes sauvages, lentilles, vesces, graines de chanvre, figurent sur les plus nobles tables, sous forme de purées ou de bouillies. On ramasse dans les champs le panais, le raifort, le carvi. Le blé et l'orge, originaires de l'Asie Mineure, ont été introduits depuis de longs siècles, mais on remplace à l'occasion leur farine par celle de l'asphodèle. On mange les racines de la « monnaie du pape », du cerfeuil bulbeux. On se régale d'humbles feuillages, que ne broutent aujourd'hui que les

chèvres, et même de glands ou de chardons.

Les fruits ne sont pas plus variés. Groseilles, noisettes, pommes amères et caillouteuses, fraises de bois, merises, sont les plus connus. Par contre, la vigne, spontanée semble-t-il, au moins dans le sud, étend son domaine plus loin qu'aujourd'hui. Dans les environs de Paris, de Montmartre à Argenteuil, elle fournit des crus estimés et elle est cultivée en Bretagne et en Normandie où on ignore encore le cidre ! On n'y connaît pas davantage le sarrasin, ce blé de l'ouest moderne, qui n'y paraît qu'au *XVI<sup>e</sup>* siècle, venant de Mandchourie par la Russie et par l'Allemagne.

Notre moyen âge fut donc privé de presque tous les végétaux qui constituent la base de notre alimentation moderne. Il ignore, et pour cause, la pomme de terre, le haricot, le manioc, le maïs, le topinambour, la tomate, la patate douce, et aussi le riz, le chou-fleur, l'artichaut, l'asperge, l'épinard, la carotte cultivée et bien d'autres plantes qui nous sont devenues indispensables. Pêches, prunes, oranges, appréciées plus au sud et venues d'Orient, étaient pratiquement inconnues sur notre territoire, où bananes, dattes et, encore plus, ananas, vanille, ainsi que thé, café, cacao, etc., ne devaient apparaître qu'un, deux ou trois siècles plus tard. Il n'était d'huile que de colza ou d'œillette ; l'huile d'olive ne se trouvait que dans le midi. En dehors du vin et de la cervoise, sorte de bière, on ne buvait que de l'hydromel tiré du miel, qui fournissait à lui seul toute la matière sucrée, dans l'ignorance où l'on était du jus de canne autant que de betterave. En bref, le nombre des plantes cultivées, pour tous les usages alimentaires ou industriels, ne dépassait pas la cinquantaine. Il y en a dix fois plus aujourd'hui.

A quels hommes, à quels événements les devons-nous ?

### La guerre des épices

Il est évident que les grands voyages maritimes ont été pour beaucoup dans l'introduction d'espèces nouvelles. La découverte de l'Amérique a été suivie d'un bouleversement total du règne végétal sur toute la surface du globe. Mais la plupart de ces importations ou exportations ne furent souvent que des conséquences indirectes, et parfois très tardives, des grandes expéditions.

Bien des plantes, dont le rôle est aujourd'hui primordial dans l'économie de l'univers, ne furent rapportées qu'à titre de curiosités. On sait quelles appréhensions il fallut vaincre pour imposer à l'Europe l'usage de la pomme de terre dont la plus grande partie de l'humanité ne saurait se passer aujourd'hui. L'activité des navigateurs et des marchands s'exerça au contraire, pendant plusieurs siècles, sur des

espèces beaucoup moins utiles et pour la conquête desquelles des fortunes et des existences furent sacrifiées sans compter.

Pour ravir au voisin la girofle, la muscade, la cannelle ou tels produits du même genre, qui, si agréables soient-ils, ne changeraient rien à notre alimentation si nous devions nous en priver, des batailles se sont livrées avec la même fureur que s'il avait fallu conquérir ou conserver un empire.

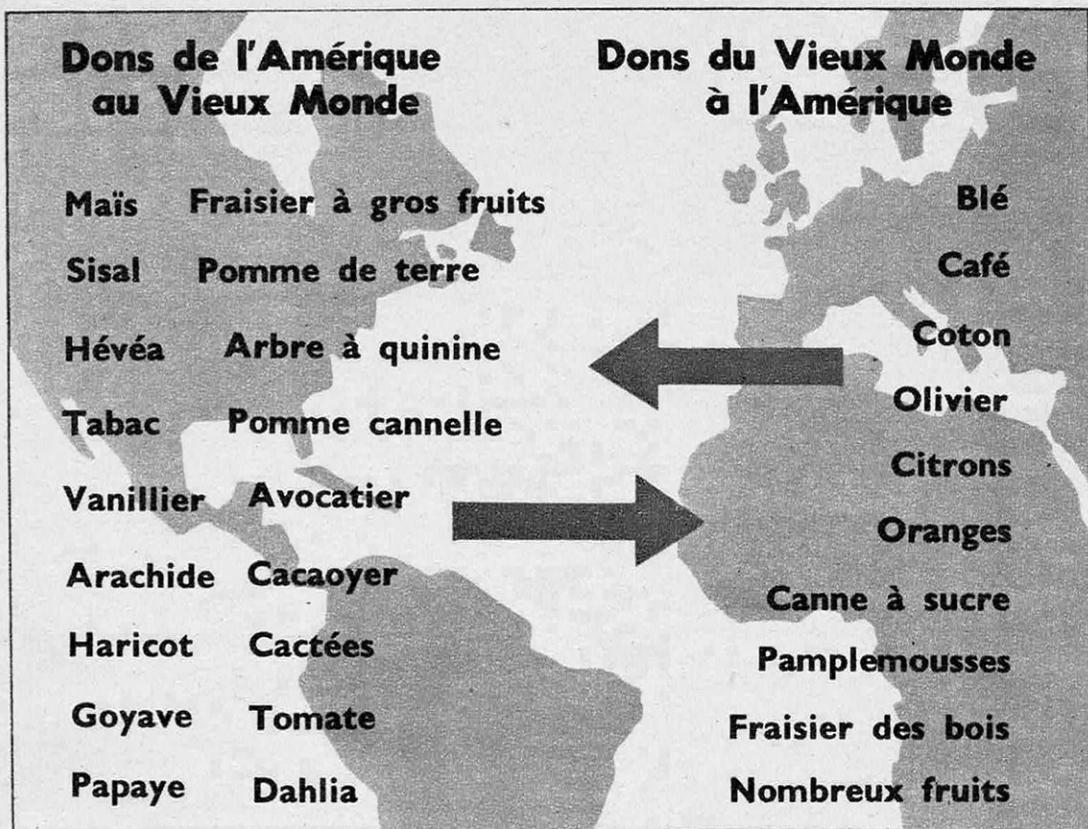
Quand la garde de ces trésors était trop malaisée, on les détruisait pour ne centraliser leur culture qu'en un seul point du monde. Pendant des centaines d'années, il n'y eut de girofle qu'à Banda, de muscade qu'à Amboine. Selon le témoignage de Bougainville (en 1769), un habitant de Batavia fut fustigé, marqué au fer rouge et abandonné sur un îlot désert, parce qu'il avait montré à des Anglais une carte des Moluques.

Parmi ces modernes Argonautes qui se dévouèrent jusqu'à la mort pour enrichir leur patrie d'un pied d'arbuste ou d'une semence, nous ne citerons qu'un seul nom, celui d'un humble missionnaire au nom prédestiné : Pierre Poivre.

Envoyé en Chine vers 1740, il commence par s'y faire condamner à mort, profite de son séjour en prévention pour apprendre le chinois, se réhabilite, repart, combat en mer, a le bras emporté, atteint tout de même les Indes, l'Indochine, Timor, mais échoue chaque fois, car il ne parvient à rapporter que quelques pieds de canneliers. Sur le tard, il est nommé gouverneur de l'Île-de-France. Il y rétablit le Jardin Botanique commencé par La Bourdonnais et met enfin sur pied ce célèbre Jardin des Pamplemousses qui, au dire des contemporains, est le plus beau du monde, et où se trouvent réunis muscadiers et girofliers avec toutes sortes d'essences venues des Indes, du Brésil, de Ceylan, de Madagascar, de Chine, de Java, du Tibet, d'Afrique et même de France. Au nombre figurent cotonniers, cannes à sucre, manioc, dont le développement et le rôle économique vont devenir gigantesques. Les produits de ces plantes importées s'exportent vers tous les pays du monde.

### Le grand bouleversement végétal

Le grand bouleversement végétal est en route et ne s'arrêtera plus. Quand Voltaire, dans *Candide*, raille ces deux grands peuples qui, pour quelques arpents de neige se font une guerre qui leur coûte plus que tout le Canada ne vaut, il ne fait qu'exprimer une opinion contemporaine qui n'indignait personne, car elle était voisine de la vérité. Quel prophète aurait pu prédire que ce pays d'im-pénétrables forêts serait un jour couvert de



champs de ce blé dont les trappeurs d'alors étaient parcimonieusement approvisionnés par les pays d'Europe, le froment étant totalement inconnu du Nouveau Monde avant l'arrivée de Christophe Colomb ?

Prenons d'autres exemples. L'arachide, qui fut de tout temps américaine, couvre à présent des millions d'hectares aux Indes, en Chine, au Japon, en Afrique, jusqu'en Océanie et dans des proportions qui dépassent parfois de beaucoup celles du berceau natal : 10 % de la production actuelle en Amérique, pour 75 % en Asie.

Même aventure pour le cacao. Ce fut une curiosité de l'Amérique Centrale que Colomb rapporta au roi Ferdinand : un fruit bizarre servant là-bas de monnaie, ou utilisé par les indigènes pour fabriquer un aliment agréable au goût. Presque aussitôt, l'Espagne adopte le « chocolat », qu'elle accommode encore aujourd'hui avec un art supérieur. De nos jours, l'Afrique exporte plus des deux tiers du tonnage mondial.

L'hévéa, l'arbre à caoutchouc, connu une destinée plus extraordinaire encore. Exploité sur les rives de l'Amazone dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, puis abandonné par suite de l'extermination de la main-d'œuvre indienne, il s'exile et occupe bientôt des territoires de plus en plus vastes où il se substitue

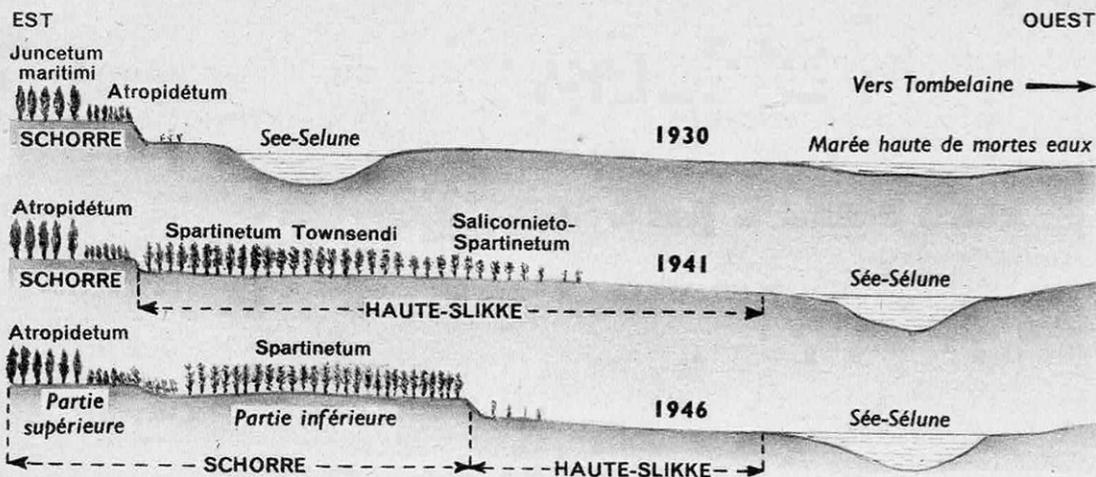
à l'ancienne végétation, en Malaisie, aux Indes néerlandaises, en Indochine, au Siam.

### Les échanges intercontinentaux

Pour être moins spectaculaires, des échanges semblables s'effectuent depuis quatre siècles entre les deux continents. Ainsi nous devons à l'Amérique, en plus de la pomme de terre déjà citée, le maïs, le manioc, le sisal et le tabac. Le haricot américain parut, d'après F. Gidon, pour la première fois en France « dans la corbeille de mariage de Catherine de Médicis ». Quant à la tomate, vite adoptée dans nos pays méridionaux, R. Bouvier nous apprend qu'elle figurait comme plante ornementale dans le catalogue de Vilmorin en 1760 ; ce n'est que dans l'édition de 1778 qu'elle devint potagère.

Comme autres produits du Nouveau Monde, nous noterons encore le quinquina, naturalisé javanais aujourd'hui, et le groupe des agaves et cactus mexicains qui ont si totalement modifié l'aspect des paysages d'Orient ou de notre Côte d'Azur. Nous passerons rapidement sur les fruits : ananas, goyaves, etc., car, sous ce rapport, nous avons été plus généreux pour l'Amérique qu'elle ne l'a été pour nous.

Parmi les produits que l'Ancien Monde apporta aux Amériques, nous avons déjà nommé



## Contre l'érosion des côtes

La spartine de Townsend est une graminée qui a le pouvoir de vivre dans les milieux très salés et de modifier profondément les lieux qu'elle habite. Les « Slikkes » vaseuses, dépourvues de végétation, sont rapidement transformées en « schorres » recouverts d'un tapis herbu et seulement submergés aux très hautes marées, puis en « polders ». Il y a une tendance à l'exhaussement du sol vers les parties proches des rivières. Ci-dessus, évolution de la région de Genêts-Saint-Léonard. Ci-contre, touffes de spartine dans la baie du Mont Saint-Michel. Signalée pour la première fois en 1879 dans la baie de Southampton, la « *Spartina Townsendi* » est étudiée en détail dans l'ouvrage du Professeur J. Jacquet, de la Faculté des Sciences de Caen : « Recherches Ecologiques sur le littoral de la Manche ». (Ed. P. Lechevalier.)



le blé, introduit sous forme de quelques grains semés au Pérou par dona Inès Munoz, belle-sœur de Pizarre, puis, plus tard, au Canada, qui en est devenu un des greniers. Le café a connu une égale fortune. Venu des bords de la Mer Rouge au temps de la reine de Saba, il avait colonisé tout l'Orient, de la Syrie à Java, au xv<sup>e</sup> siècle, et joué sa chance en France sous Louis XIV. Après quoi, à partir d'un plant unique rapporté par de Jussieu au Jardin des Plantes, en 1714, il vogua vers l'Amérique, aborda aux Antilles et y commença la plus prodigieuse carrière de l'histoire végétale.

Moins de 150 ans plus tard, le Brésil couvrait ses « terres roses » de milliards de caféiers occupant l'emplacement des forêts vierges incendiées, et finissait par fournir, au xx<sup>e</sup> siècle, les deux tiers de la production mondiale, soit quelque 18 millions de quintaux annuels sur une totalité de 24.

Le coton a aussi son histoire. Ce très vieil hindou, connu d'Hérodote, se fait oublier de

l'Occident jusque sous le règne de Saint-Louis. Il parvient ensuite en Europe sous forme de balles employées par l'industrie anglaise. La plante est enfin confiée au sol d'Amérique, où il faut attendre l'introduction des esclaves pour qu'elle connaisse un rapide essor. En 1860, les Etats du Sud produisent quatre millions de balles. Cette prospérité excite l'envie des Etats du Nord. C'est le moment de publier la fameuse « Case de l'oncle Tom », noble et juste prétexte pour déclarer la guerre de Sécession. Les planteurs de Virginie sont ruinés, les esclaves libérés meurent de faim, le Nouveau Monde perd sa suprématie cotonnière au profit de la Chine, de l'Inde et de l'Égypte, donc de l'Angleterre. Les vainqueurs essaient de ramasser le sceptre déchu. Ils ne le relèvent qu'aux dépens de la qualité, et les Noirs retombent aux mains de nouveaux maîtres, avec le bénéfice d'avoir perdu le nom d'esclaves, mais en devenant des parias.

Le récit serait le même dans ses grandes lignes pour la canne à sucre. Ce roseau indien

s'est étendu très tôt dans les régions chaudes et humides de l'Ancien Monde et, de là, a gagné le sud de l'Europe et le Proche-Orient. Venise produit le sucre dès l'an 1000, Constantinople en est un des marchés, tandis que, pendant des siècles encore, l'Occident ne connaît que le miel. L'Espagne, au moment de sa splendeur, cultive la canne, l'introduit aux Canaries. Et c'est, semble-t-il, Cortez qui l'apporte pour la première fois en Amérique.

Ses débuts y sont difficiles. Plus tard, elle fait un grand départ au Brésil, mais d'autres cultures l'y supplantent. Réfugiée aux Antilles, elle y prend bientôt un tel essor que ces îles vont garder pratiquement le monopole du sucre jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Il faut les guerres napoléoniennes et le blocus continental pour faire surgir un rival nouveau, la betterave. Une fois de plus, le rythme végétal du monde est rompu.

Laissant de côté quelques autres exemples de moindre importance, citons enfin la plus récente migration, celle des agrumes et des meilleurs fruits d'Europe et d'Asie en Amérique, devenue leur centre de production de beaucoup le plus actif. A ces espèces, il s'en est ajouté d'autres, originaires de l'hémisphère austral, si bien que l'univers entier se trouve approvisionné de fruits en toutes saisons.

### Seules quelques espèces animales furent transplantées

L'homme a-t-il provoqué des changements semblables dans le monde animal ?

Dès le moment où la préhistoire nous révèle l'existence d'animaux domestiques, il nous est souvent difficile de déterminer de quelle race sauvage dérive chacun d'eux et de quelles

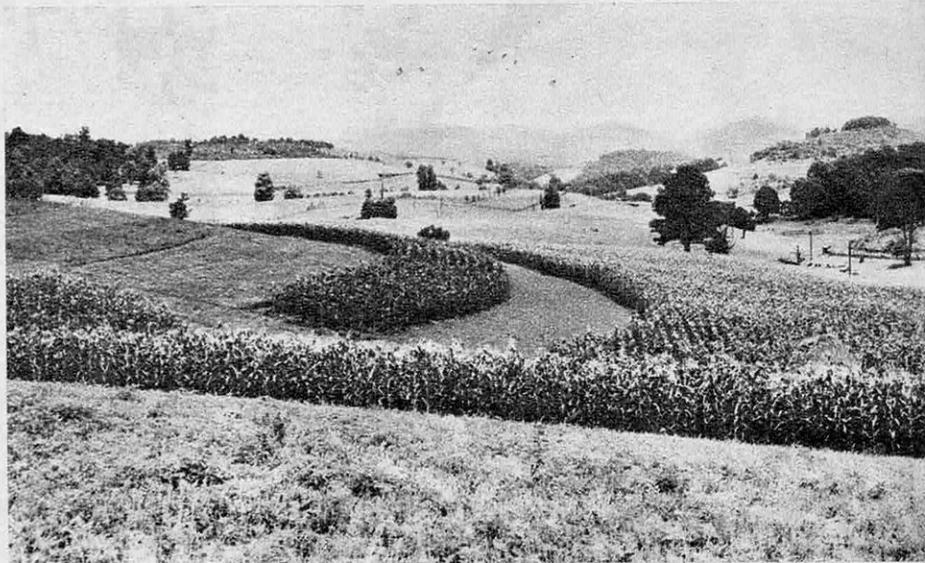
contrées il vient. Le plus probable est qu'en Europe occidentale, aucune espèce indigène n'a été directement domestiquée. Nos moutons, nos chèvres, nos porcs, nos chiens et même nos lapins et nos poules ne sont pas les descendants immédiats des moufflons, bouquetins, sangliers, loups, etc., qui vivaient sur notre sol. Avant que la Gaule ne fut la Gaule, tous paraissent avoir surgi de l'Est, soumis et évolués déjà depuis longtemps, en même temps que les peuplades qui les amenaient avec elles.

Dès que l'histoire nous renseigne, nous constatons, au contraire, une certaine sélection réductrice et l'abandon d'essais qui n'ont pas donné satisfaction. Ainsi les Egyptiens domestiquaient des animaux dont nous ne voulons plus, et les tentatives d'acclimatation récentes d'animaux exotiques dans nos pays ont échoué pour la plupart.

Dans les échanges intercontinentaux, seul le Nouveau Monde fut bénéficiaire car toutes nos importations étaient pour lui nouvelles. Il ne s'était guère associé qu'un mammifère, le lama, serviteur à tout faire, dont nous n'avions pas besoin. En revanche, une des seules espèces d'Amérique que nous ayons adoptées fut le dindon qu'elle n'avait jamais songé à mettre en basse-cour.

Nous voici arrivés au point d'où nous pouvons mesurer le chemin parcouru et voir quels bénéfices l'humanité a tiré d'une victoire qu'elle est si fière d'avoir remportée sur la nature. Certes, ses succès semblent prodigieux. Ceux qui ont consacré et souvent sacrifié leur vie à améliorer le sort des humains, en mettant à leur portée de précieuses ressources méritent des louanges. Enfin, en créant des animaux domestiques et en guidant leur évo-

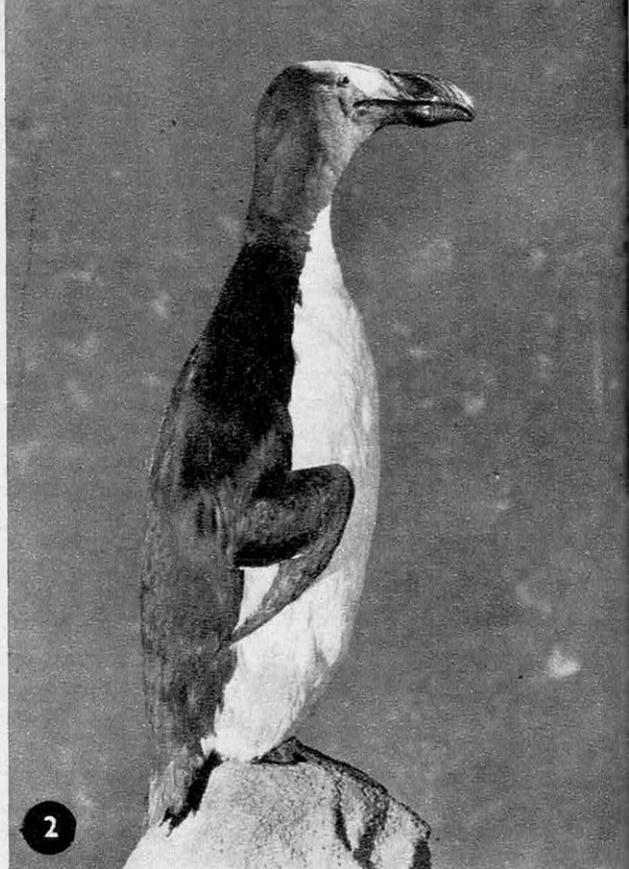
**Contre l'érosion des terres** on préconise, aux Etats-Unis, les cultures en bandes suivant les lignes de niveau. L'écoulement des eaux est ainsi coupé et la terre végétale n'est plus entraînée. Dans ce pays qui a connu, par la faute de l'homme, la dévastation d'immenses régions fertiles, l'opinion publique a pris peur et la conservation des sols est désormais mise en vedette comme un devoir national.



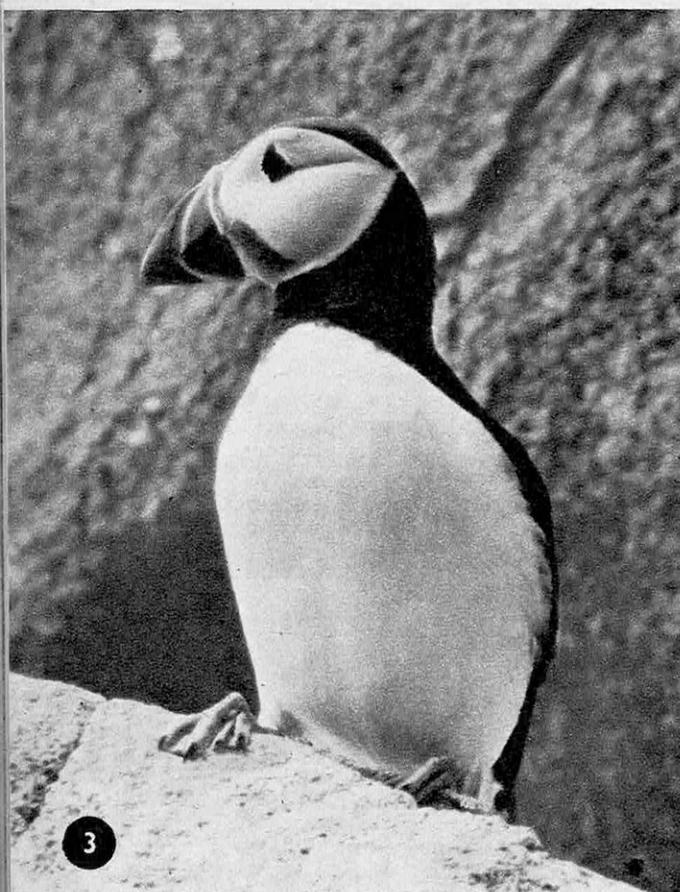
U.S.I.S.



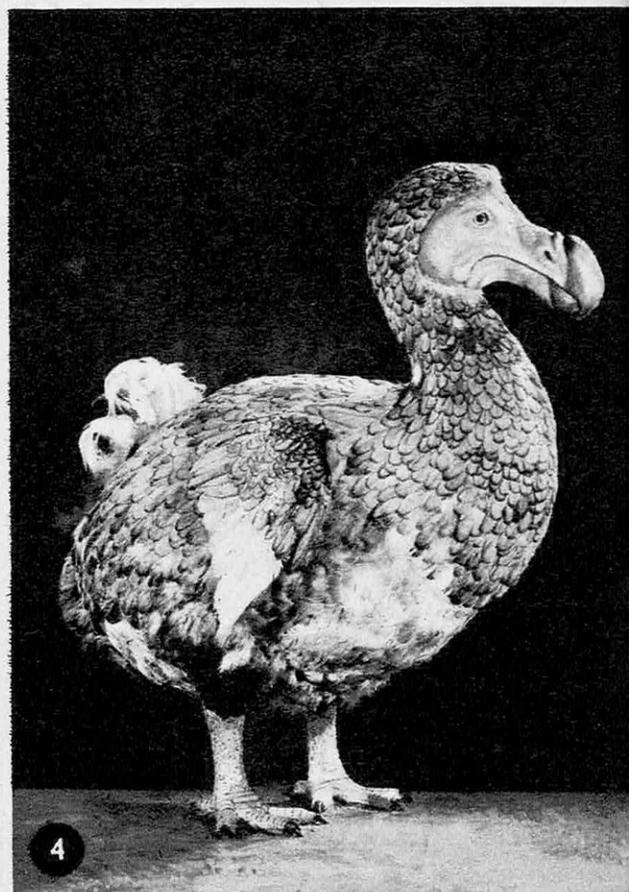
American Museum of Natural History.



American Museum of Natural History.



Ph. Dragesco.



American Museum of Natural History.

lution, ils ont largement enrichi le patrimoine des hommes et, en bien des cas, assuré la survie d'intéressantes espèces. N'en prenons pour témoin que le cheval qui, si nous ne l'avions sauvé de l'extinction naturelle, serait aujourd'hui un fossile.

### Le revers du succès

Mais examinons le détail. Quand, dans un roman contemporain, nous voyons une famille de paysans canadiens « faire de la terre » en attaquant, le fer à la main, la forêt qui les entoure de toutes parts, nous les trouvons sublimes. Mais si nous considérons qu'ils ont, sur toute la surface du globe, des centaines de millions d'émules bien plus puissamment équipés qu'eux, nous nous apercevons avec terreur qu'ils n'accomplissent rien d'autre qu'une œuvre de mort.

On a pu dire que la forêt et la mer sont les deux poumons de notre planète. Jusqu'à présent, nous avons laissé l'un d'eux à peu près intact : la mer. Mais nous avons fait subir à l'autre de telles opérations chirurgicales qu'il est à l'agonie.

Pour faire de la terre, nous employons actuellement des moyens beaucoup plus puissants que le feu. Nous avons même aggravé le mal en remplaçant immédiatement la végétation détruite par une autre dont nous avons poussé le développement par une culture intensive qui a dévoré en quelques années la réserve d'humus accumulée par les arbres.

Le sol ainsi épuisé, il a fallu recommencer plus loin. Pendant ce temps, l'espace abandonné, stérilisé, privé de toute protection, a subi l'action combinée des pluies, des séche-

resses et du vent, provoquant l'érosion, le colmatage des terres et l'imperméabilisation de la surface découverte. Les eaux, n'y pénétrant plus, s'y accumulent ou deviennent torrents, et l'herbe misérable qui s'efforce de pousser encore est livrée aux plus destructeurs des animaux, les moutons et les chèvres.

### Les forêts cèdent la place aux déserts

Dès l'antiquité, de grandes civilisations se sont anéanties, sans autre cause, sinon aussi les guerres. Il y a trente siècles, la proche Asie où la tradition plaçait le paradis terrestre, était riche, prospère, fertile, de grands fleuves l'arrosaient abondamment. Mais l'accroissement de sa population entraîna celui de ses besoins. D'où l'accaparement du sol disponible pour une culture épuisante, et l'extension de l'élevage. Le cycle infernal était déclenché et, aujourd'hui, le désert de sable recouvre les cités autrefois puissantes.

Cette histoire s'est maintes fois reproduite à travers les siècles et se poursuit dans le monde entier avec une vitesse accrue. Ce n'est plus sous la hache des squatters que les arbres tombent, mais sous l'élan des bulldozers.

La profonde sylvie africaine, inviolée pendant des millions d'années, fond comme neige au soleil. Juste le temps de permettre au coupeur de bois de prendre sa part, de l'emporter, et la place est livrée toute chaude aux planteurs. Alors s'installent le coton, le tabac, l'arachide, le riz et dix autres envahisseurs qui rongent tout ce qu'on leur abandonne, réussissent ou ne réussissent pas, mais vident le sol de sa substance en quelques années. On est passé ainsi de la forêt à la brousse, de la brousse au désert. Au nord du Niger, le Sahara avance de plusieurs kilomètres par an... Qu'est-ce que cela peut faire ? Ce n'est pas la place qui manque, il n'y a qu'à recommencer plus loin.

Et on a recommencé au Brésil, au Mexique, aux Indes, à Madagascar, en Chine, en Indonésie, en Australie, jusqu'au cœur des nations qui sont, ou prétendent être à la tête du progrès. Il y a un siècle, des voyageurs parcourant les Etats-Unis s'en étonnaient déjà. Aujourd'hui, les statistiques nous apprennent qu'il n'y reste que 40 % de terre saine ; plus de 500 000 kilomètres carrés sont devenus difficilement utilisables ; 15 000 sont définitivement perdus...

De temps en temps, il faut régler l'échéance. Ce sont alors d'épais nuages de terre qui étouffent les hommes, font périr de soif le bétail par centaines de milliers de têtes, ruinent des populations entières. Après quoi, le rythme désorganisé des pluies reprend l'of-

---

#### 1 Le pigeon migrateur d'Amérique

a disparu tout récemment. Ses passages du Canada en Amérique Centrale s'étendaient parfois sur près de 40 km de long. L'homme a une lourde part de responsabilité dans sa destruction.

2 Le grand pingouin, chassé systématiquement, a disparu complètement depuis une centaine d'années. Le massacre par les hommes n'a fait que précipiter son extinction naturelle.

3 Les macareux, curieux oiseaux de la famille des pingouins, forment de petites colonies qui nichent dans des terriers. Ils furent l'objet de massacres sans excuses. En France, l'archipel des Sept-Iles a dû être constitué en réserve.

4 Le dronte ou dodo, de l'île Maurice et de la Réunion, n'existe plus aujourd'hui que sous forme fossile. De la taille du dindon, avec des ailes de poussin, il subsistait encore vers 1600.

fensive à son compte. Des inondations balaient des superficies égales à plusieurs de nos départements, noient les habitants par centaines, immobilisent de puissants centres industriels ; les dégâts se chiffrent fréquemment par milliards de dollars.

La situation est la même dans beaucoup d'autres pays où la dévastation des forêts est plus ou moins récente comme en Russie, en Norvège, dans les Balkans, etc., ou réalisée depuis longtemps, comme en Espagne, aujourd'hui érodée « jusqu'à l'os ». Partout, on s'aperçoit de l'erreur commise, mais, en général, il est trop tard.

L'espoir de récupérer ce désert en lui prodiguant les soins appropriés semble n'être qu'un leurre.

Certes, d'habiles expériences ont montré qu'on pouvait faire sortir une nouvelle végétation d'un sable aride, au moyen d'une irrigation abondante. Mais l'eau ainsi répandue n'est pas toujours bienfaisante. Elle entraîne dans les profondeurs une partie des éléments nutritifs que contenait encore le sol, et la végétation qu'elle fait croître ne connaît souvent qu'une poussée éphémère.

Cà et là, les prodigieux progrès de la chimie ont permis des résultats qui tiennent du miracle. Un champ de pommes de terre, de carottes, donne aujourd'hui trois fois plus de tubercules ou de racines qu'il y a cinquante ans.

Mais ces prétendues victoires ne représentent-elles pas une menace pour l'avenir ?

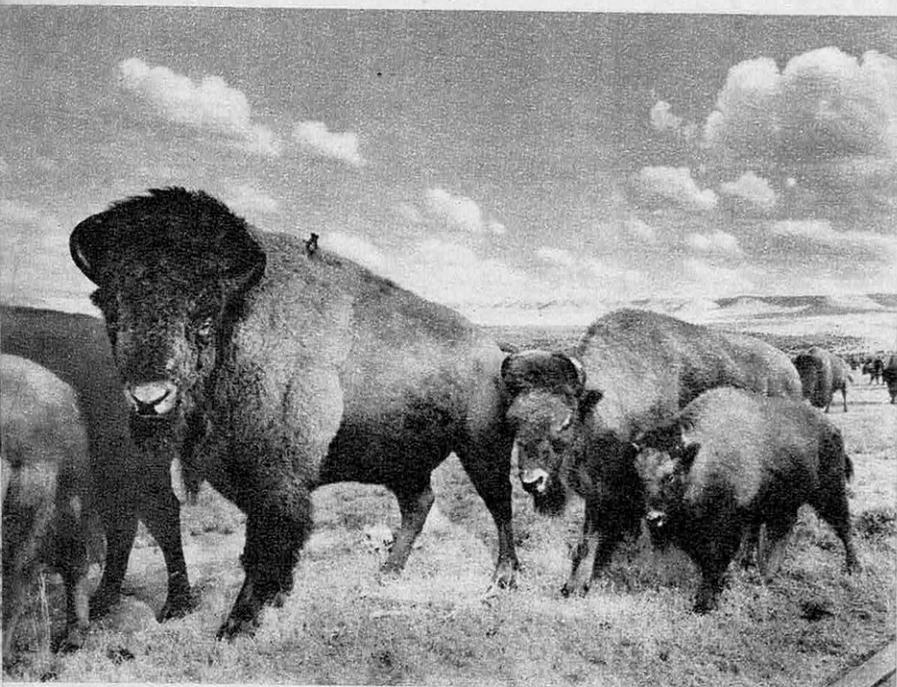
## L'offensive des parasites

Chaque espèce cultivée provient naturellement d'une espèce sauvage primitive. Dans sa patrie d'origine, cette dernière s'était mise d'accord avec tout ce qui l'entourait. Tout ce qui existait autour d'elle, végétaux ou animaux, pouvait lui être hostile, mais seulement dans la mesure où il l'avait toujours été, jamais plus, jamais trop.

Quand nous sommes venus chercher cette même espèce pour la transporter dans notre sol, l'expérience lui a été souvent fatale. Mais si le changement n'a pas été trop brusque, les conditions nouvelles pas trop différentes, la nouvelle venue s'est acclimatée.

Le moment arrive où l'homme, voyant le succès de son innovation, l'utilise jusqu'à son rendement extrême. Il ne cultive plus qu'elle, en la forçant. Mais, outre l'épuisement du sol qui résulte de cette monoculture, toute plante, comme tout être vivant, a ses parasites. L'équilibre naturel qui existait dans le milieu originel ne subsiste plus après le dépaysement. Ou bien l'étrangère, ne rencontrant pas d'ennemis dans sa nouvelle patrie, se développe aux dépens des plantes indigènes. Ou bien, lorsque son parasite habituel la retrouve dans sa fortune neuve, il rivalise de fécondité avec elle et, n'ayant pas lui-même d'ennemis locaux, devient tout puissant.

Un agronome américain, parlant de la mouche de la carotte, fléau de cette plante aux Etats-Unis, a dit que si l'homme, au lieu de



### Le bison américain

est aujourd'hui un animal protégé dans des réserves et dont il ne reste guère qu'un millier de têtes. Son extermination n'a demandé que quelques siècles et s'est surtout précipitée avec le refoulement des Indiens et la conquête agricole du Far West par les Blancs. Bien connu par sa bosse, son cou court, le « buffalo » n'est plus qu'un vestige du passé.

cultiver des carottes, avait voulu cultiver des mouches, il n'aurait pu mieux s'y prendre. Mais nous avons depuis quelques années, chez nous, un exemple bien plus caractéristique et bien plus désastreux encore : le doryphore. Insecte pratiquement inoffensif dans son Far-West natal, il est devenu, en retrouvant, de l'autre côté du monde, sa vieille associée sauvage, la pomme de terre, un véritable fléau.

Le cas est loin d'être unique, depuis les parasites animaux comme le phylloxera jusqu'aux parasites végétaux comme l'oïdium. Nous en devons un certain nombre à l'Amérique. Elle nous en doit autant.

### La chimie antiparasite

Ce sont, encore une fois, les chimistes qui sont intervenus pour conjurer le mal. Vers 1930, une mouche méditerranéenne introduite en Floride y fit de tels dégâts qu'elle provoqua la faillite des banques de cet Etat. La culture des fruits, une des principales richesses de la contrée, fut anéantie.

La Californie reprit cette culture à son compte mais, pour éviter les mêmes revers, organisa la défense à grand renfort de troupes, d'avions et de gaz.

Pendant une dizaine d'années, D.D.T., H.C.H., etc., furent généreusement répandus sur ces nouveaux champs de bataille et la mouche fut enfin vaincue. Ce fut un triomphe qu'on célébra d'autant plus haut qu'il était exceptionnel. D'autres combats semblables

s'étaient livrés et se livrent encore avec un succès beaucoup plus douteux.

Cependant, la mouche ne succomba pas seule dans la bagarre. L'extermination ruina tous les apiculteurs du pays et provoqua des récoltes déplorables, parce que beaucoup de fleurs ne doivent leur fécondation qu'à ces insectes. Les vers, dont le rôle est primordial dans l'assainissement du sol, périrent en même temps, de même que certains insectes utiles, notamment ceux qui parasitent les espèces nuisibles qui, elles, résistèrent en assez grand nombre. Ce fut le cas de la plupart des chenilles qui se mirent à pulluler. Les oiseaux insectivores, privés de leur nourriture normale, furent à leur tour décimés. On s'aperçut bientôt que ce n'était pas seulement d'inanition, mais aussi parce qu'ils avaient absorbé des insectes empoisonnés.

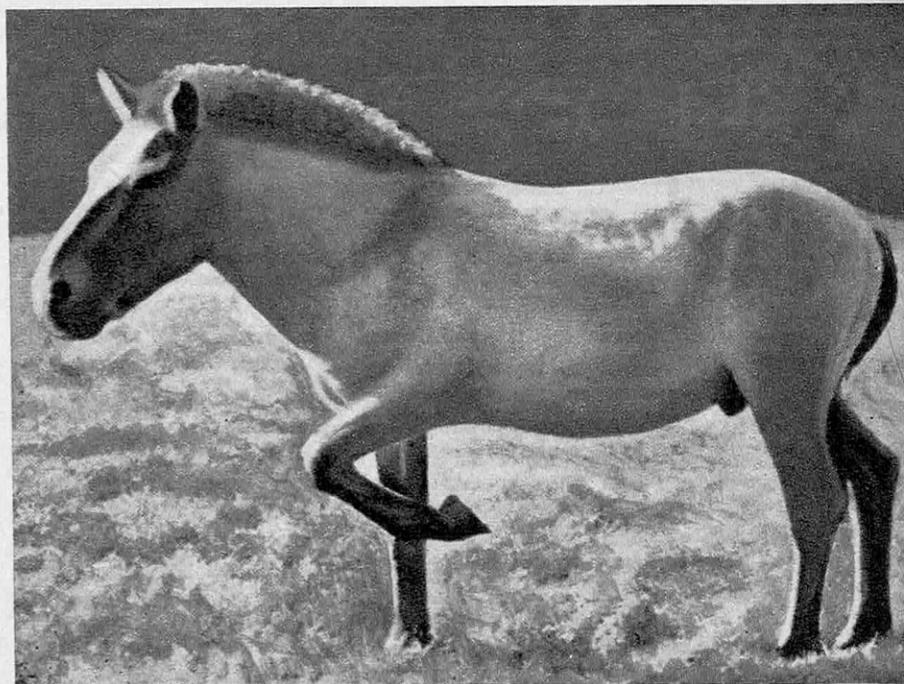
Les spécialistes avaient toujours dit qu'aux doses insecticides, les D.D.T. et consorts sont sans action sur les vertébrés à sang chaud. Il semble en être ainsi quand ils sont utilisés pour l'usage ménager. Il n'en est pas de même dans les offensives de grand style, où il est obligatoire d'employer des doses beaucoup plus fortes.

### Les auxiliaires naturels

Avec les animaux, nos bévues ont été encore plus grandes.

L'exemple le plus souvent cité de ces magistrales erreurs est celui des sept couples de

**Le cheval de Przewalski**, ou cheval sauvage de Mongolie — c'est d'ailleurs le cheval authentique — existe encore en assez grandes quantités dans les plaines de l'Asie Centrale. On croit qu'il est l'animal sauvage le plus étroitement apparenté au cheval domestique, qui aurait été amené en Occident avec les peuplades de l'Est avant même que la Gaule ne fût la Gaule.



lapins introduits en Australie, en 1870, pour doter ce continent d'un gibier nouveau.

La réussite fut si complète qu'un tiers de siècle plus tard le gouvernement attribuait d'onéreuses primes pour la destruction annuelle de 50 millions de lapins. On essaya le poison sous forme d'arsenic, et l'arsenic prouva aussitôt ses vertus meurtrières en détruisant de nombreux oiseaux. On importa putois et belettes, gens de bel appétit, mais qui préférèrent nettement la volaille aux lapins. Les renards feraient-ils mieux ? On leur donna toute liberté d'action et ce fut une catastrophe pour les agneaux. Puis, ce fut la myxomatose. Mais déjà, chez nous, après avoir failli disparaître, la gent lapine s'immunise.

L'emploi d'auxiliaires naturels, dont nous venons de voir un exemple, est maintenant à l'ordre du jour. Il a donné de bons résultats pour la protection des plantes, mais pas toujours avec les animaux.

Un récit célèbre a rendu familière à tous Rikki-Tikki, la mangouste des Indes, qui fait une guerre victorieuse aux cobras. Aux Antilles, il n'y avait pas de cobras, mais les champs de cannes à sucre étaient infestés de trigonocéphales, tout aussi dangereux.

### Bon, mais en principe

Le principe était bon. En un temps record, les redoutables serpents furent réduits à rien. En revanche, on s'aperçut bientôt que les rats se multipliaient. C'est qu'ils étaient le principal gibier des reptiles venimeux. Avec une louable bonne volonté, les mangoustes prirent l'affaire à leur compte et firent des massacres de rats.

Tout allait donc pour le mieux, sauf que les rats se mirent à habiter les hautes branches des arbres et les mangoustes durent chercher fortune ailleurs, dans les poulaillers. Les éleveurs ayant barricadé leurs domaines, ce fut au tour des petits chiens et des petits cochons de connaître de sombres jours. Puis il n'y eut plus guère que les oiseaux nichant au sol, les lézards, les batraciens, dont elles purent faire bombance. Cette menue faune insectivore détruite, les insectes se multiplièrent au grand dam des plantations.

Des aventures du même genre se renouvelent tous les jours. Dans une île du Pacifique, fréquentée par les chasseurs de phoques et où pousse un certain chou très salubre contre le scorbut, on a eu un jour la singulière idée d'introduire des lapins. Les lapins mangent les choux. Les chasseurs se plaignent. Les autorités compétentes font débarquer des chats, qui ne s'attaquent qu'aux oiseaux. On lâche alors des chiens qui préfèrent les phoques et n'en laissent bientôt plus pour les chasseurs.

### Des massacres sans excuse

Ayant réparti, une fois pour toutes, les animaux en espèces décrétées utiles ou nuisibles, l'homme s'arroge le droit de détruire les nuisibles. C'est ce qui se passe, notamment, dans les chasses gardées, et en Tchécoslovaquie, au Luxembourg, en Lorraine, on s'aperçoit déjà que de graves épidémies déciment chevreuils, lièvres, faisans, depuis qu'on a supprimé, jusqu'aux derniers, renards, martres et belettes. Aux Etats-Unis, où les petits loups de prairie ont été systématiquement massacrés, on est obligé de les réintroduire, parce que les rats dévastent tout. En France, la raréfaction primée des vipères laisse la vie sauve aux pires ennemis des produits des champs, les campagnols.

Si encore cette destruction ne s'exerçait qu'aux dépens d'animaux prétendus nuisibles, elle aurait un semblant d'excuse. Mais elle s'applique aussi à une foule d'espèces inoffensives qui, aujourd'hui, n'existent plus pour cette seule raison. Tuer pour s'enrichir ou pour le seul plaisir de tuer est une autre façon dont l'homme conçoit la transformation de la nature.

Depuis qu'il existe, plus de 600 espèces de grands mammifères ont disparu. Parfois, il n'a été que la cause indirecte de leur extinction, en développant ses cités et ses cultures là où la solitude vierge ou la forêt leur donnait asile. C'est le cas du splendide Urus, le bœuf sauvage que César a rencontré dans la forêt hercynienne et que Siegfried et Charlemagne ont poursuivis.

Mais le plus souvent la seule passion de la chasse est responsable. Depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle, nous avons exterminé presque autant de mammifères du plus haut intérêt scientifique, qu'il s'est écoulé d'années. Nous n'avons pas la place d'énumérer toutes ces victimes. Retenons seulement l'exemple de la colombe migratrice dont, il n'y a pas cent ans, les vols obscurcissaient le ciel d'Amérique sur dix kilomètres de longueur et dont le suprême représentant mourut captif au Zoo de Cincinnati, en 1914.

On a vu la même rage meurtrière s'exercer il y a quelques années, dans une île bretonne, aux dépens d'inoffensifs et curieux oiseaux de mer, les Macareux, absolument immangeables, même pour les chiens, et que les chasseurs fusillèrent à bout portant pendant des heures. Ainsi on s'aperçoit que, dans cette lutte, c'est l'homme qui succombe et précipite sa fin. Son seul égoïsme immédiat le fait détruire ce qui le nourrit et diminuer ses ressources à mesure qu'il se multiplie.

René THÉVENIN

# LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

## clef des sciences de la vie

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, un célèbre médecin et chimiste allemand, G. E. Stahl, professait dans sa *Theoria medica vera* (1707) que l'âme était le véritable principe de la vie, qu'elle régissait la santé et la maladie, et qu'il était inutile pour la médecine de connaître l'anatomie, la physique et la chimie. Un siècle plus tard, le vitalisme de X. Bichat voyait dans les *propriétés vitales* que manifestent les tissus et les organes des tendances opposées aux forces de la matière inanimée. Selon de telles doctrines, la biologie ne pouvait prétendre au rang de véritable science, car elles faisaient des organismes un monde à part, dont le caprice de la nature vivante bannissait toute loi de régularité. Il ne fallait rien de moins qu'une profonde révolution des conceptions relatives aux êtres vivants pour qu'une médecine et une physiologie scientifiques pussent se constituer : elle fut accomplie, à l'honneur de la science française, par Claude Bernard ; et l'on peut penser que son importance n'est pas à mettre moins haut que celle qui fut réalisée par Copernic, au XVI<sup>e</sup> siècle, dans l'ordre des théories astronomiques.

### Claude Bernard et la méthode expérimentale

C'est dans son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865) que Claude Bernard, se révélant comme le « législateur de la physiologie », pose les règles qui, seules, peuvent et doivent diriger la collaboration du fait et de la raison dans l'élaboration de la science.

Le principe de cette méthode est le *déterminisme*. Claude Bernard bouleverse toutes les idées anciennes en prouvant que tout phénomène vital est enchaîné à des *conditions physico-chimiques déterminées* : il se produit inmanquablement lorsqu'elles sont réalisées, et n'apparaît pas si l'une d'elles fait défaut. Ces conditions sont les *causes prochaines* des phénomènes : les découvrir est le but de toute science et, pour atteindre ce but, il n'y a qu'un moyen, l'*expérience*.

L'expérience consiste toujours, à propos d'un phénomène de la vie, à faire varier une condition que l'on suppose être sa cause déterminante ; si elle l'est réellement, on notera une modification du phénomène étudié. On pourrait donc définir l'expérience comme l'observation d'un phénomène modifié *intentionnellement* par l'expérimentateur et, comme elle procède toujours d'une *idée* ou *hypothèse* quant à la cause présumée, elle est au fond *le contrôle d'une idée par un fait*.

Claude Bernard a insisté sur le caractère *comparatif* de la méthode : l'hypothèse étant une explication anticipée du phénomène, sa vérification s'obtient toujours par une *comparaison entre les effets*, après que l'on a fait varier les causes.

On peut dire que, dans tous les cas, le rôle de l'expérience est de faire passer les phénomènes sous le contrôle de la raison. La simple observation ne livre au savant que des faits bruts, sans explication. L'expérience, en découvrant leurs conditions ou causes prochaines, les transforme en *faits scientifiques*, éclairés par leur déterminisme. Mais pour conduire avec certitude à la vérité, la pratique expérimentale exige une extrême rigueur critique dont Claude Bernard a aussi posé les règles. Il y a de bons et de mauvais expérimentateurs : l'histoire de la querelle sur la génération spontanée nous en donne une éloquente démonstration.

### Le jugement de l'expérience sur la génération spontanée

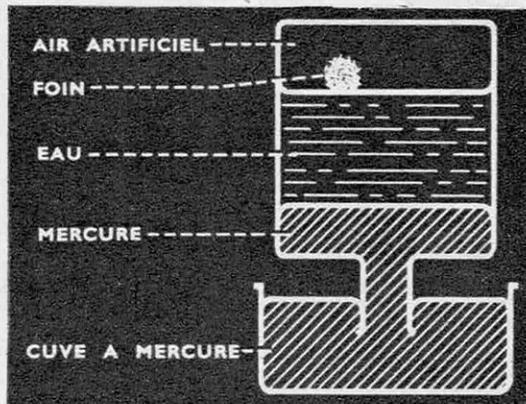
Les êtres vivants sont-ils capables de se constituer de toutes pièces, dans un milieu où ne préexiste aucun germe ou parent ? Cette question a passionné la science ancienne. Au XVII<sup>e</sup> siècle, Van Helmont affirmait que des souris naissent spontanément dans un récipient où l'on a enfermé une chemise sale et des grains de blé. Buffon, un siècle plus tard, croyait à l'organisation directe des vers et des champignons par l'union de molécules provenant de la décomposition des matières organiques. Au XIX<sup>e</sup> siècle, le problème se

limitait à la naissance des êtres microscopiques, Bactéries, Infusoires, Moisissures, et un partisan convaincu de la génération spontanée de ces êtres, F. Pouchet, chercha à la prouver par une expérience décisive.

Faisant bouillir de l'eau dans un flacon, Pouchet le retournait avec son contenu sur la cuve à mercure, puis introduisait au-dessus de l'eau une atmosphère artificielle composée, dans les mêmes proportions que l'air, d'oxygène et d'azote purs, préparés chimiquement. Enfin, une petite balle de foin, préalablement stérilisée à l'étuve, était glissée à travers le mercure et par l'ouverture du goulot jusque dans l'eau du flacon. Toutes les précautions avaient été prises pour que l'eau, l'air et le foin fussent absolument privés de germes vivants. Or, au bout de quelques jours, l'eau, examinée au microscope, montrait la présence de minuscules organismes. L'expérience paraissait concluante, et Pouchet la présenta en 1859 devant l'Académie des Sciences, croyant avoir cause gagnée.

### Pasteur détruit une légende

C'est alors qu'intervint dans le débat un savant que ses études sur le rôle des infiniment petits dans les fermentations avaient conduit à une hypothèse contraire : Pasteur. « Je vais montrer, dit-il, par où les souris sont entrées; l'expérience de Pouchet est aussi mauvaise que l'expérience du pot de linge sale de Van Helmont ». Et il fit voir que les poussières que l'air dépose à la surface de la cuve à mercure suffisaient pour ensemençer l'eau et le foin au moment de leur introduction dans le flacon. Il effectua une longue suite d'expériences pour démontrer qu'un liquide bouilli, mis à l'abri de tout germe, reste indéfiniment stérile. Ces germes, il est possible de les recueillir vivants, de les reconnaître au microscope et, en les introduisant dans le liquide jusque-là stérile, de le transformer en bouillon de culture. C'est

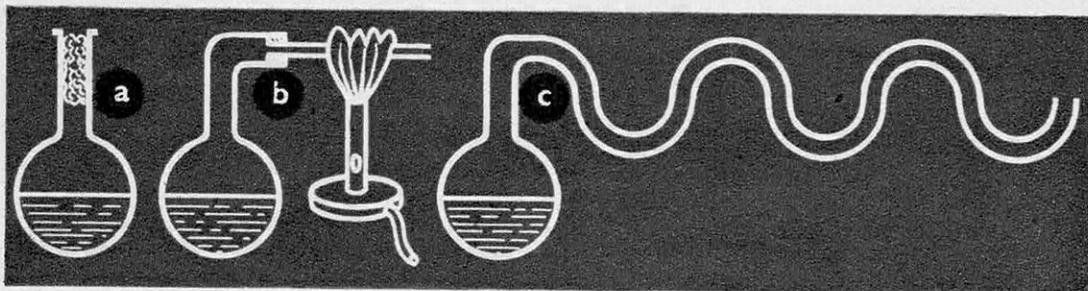


**L'expérience de Pouchet** pour démontrer la génération spontanée. Le flacon contenant de l'eau bouillie fut renversé sur la cuve à mercure, puis une atmosphère chimiquement pure et une pelote de foin préalablement stérilisée y furent introduites. Des micro-organismes ne tardèrent pas à apparaître, mais la contamination provenait des poussières déposées auparavant sur le mercure.

le type même de l'expérience de contre-épreuve, qui, dans la méthode expérimentale, doit toujours venir confirmer le résultat premièrement obtenu.

Pasteur ne se tint pas encore pour satisfait; on pouvait lui reprocher de détruire, par l'ébullition du liquide, une condition inconnue, nécessaire à la génération spontanée de la vie. Il imagina alors de recueillir des liquides organiques naturels, urine, sang, lait, puisés dans les organes mêmes d'animaux vivants à l'aide d'une éprouvette spéciale: de tels liquides se conservent indéfiniment dans le récipient dont l'ouverture est munie d'un simple bouchon de coton. En 1864, Pasteur pouvait affirmer: « Il n'est pas une seule circonstance aujourd'hui connue où l'on ait vu des êtres vivants venir au monde sans parents. »

En bannissant une théorie fausse, Pasteur



**Les expériences de Pasteur** prouvèrent l'impossibilité de la génération spontanée. Dans le ballon (a), l'eau reste stérile, car la bourre de coton, placée dans le goulot aussitôt après l'ébullition, filtre l'air qui pénètre lors du refroidissement.

Le résultat est identique avec le ballon (b) où l'air rentre librement, mais est calciné dans le tube métallique, et avec le ballon (c) où le col sinueux brise la rentrée de l'air qui dépose alors germes et poussières sur ses parois.

n'a pas fait, comme on le prétend parfois, œuvre purement négative; bien au contraire, il a démontré la loi absolue de la continuité de la vie et créé en leur principe les méthodes d'asepsie. Quant à Claude Bernard, non seulement il a enrichi la physiologie d'une somme immense de découvertes expérimentales, mais il a légué à la science biologique les méthodes qui allaient assurer désormais ses étonnants progrès.

Ces conquêtes récentes sont si nombreuses et si importantes qu'il est difficile de choisir les quelques exemples que l'on peut en présenter dans ces pages.

### La parthénogénèse expérimentale

En s'unissant à l'ovule dans la fécondation, le spermatozoïde exerce une action extraordinaire sur cette cellule en proie à un état d'inertie qui l'achemine vers la mort: réveil d'échanges respiratoires intenses, expulsion d'un liquide à sa surface, édification d'une première figure de division du noyau, inauguration rapide des divisions qui vont constituer peu à peu l'embryon. Cette soudaine et multiple activité pose aux biologistes un difficile problème: comment le spermatozoïde exerce-t-il des pouvoirs si décisifs? C'est à cette question que l'expérience, sous la forme de la parthénogénèse artificielle, ou fécondation sans intervention d'élément mâle, tente de répondre.

E. Bataillon, en 1910, fit l'hypothèse très simple que le léger traumatisme dû à l'entrée du spermatozoïde fécondant suffisait à réveiller l'activité ovulaire, et il imagina que la piqûre d'une fine aiguille de verre ou de métal pourrait avoir la même efficacité. Prélevant des ovules mûrs dans l'utérus de femelles de crapauds et de grenouilles et les disposant dans des récipients de verre, il les piqua un à un, puis les recouvrit d'eau. Ces ovules, dans la proportion de 90 %, montrèrent les premières manifestations d'une fécondation ordinaire et ébauchèrent une division de segmentation; mais une faible proportion seulement, moins de 10 %, poursuivirent un véritable développement parthénogénétique jusqu'à la formation de têtards.

L'hypothèse qui avait servi de base à l'expérience était juste, mais elle ne l'était qu'en partie; à la piqûre, il manquait l'action d'un facteur inconnu. Il y avait lieu de soumettre l'expérience à une critique sévère. D'où une nouvelle hypothèse suggérée par le fait que les œufs, extraits chirurgicalement de l'utérus, sont maculés de sang: l'introduction, par la piqûre, d'un globule sanguin (pourvu d'un noyau chez les batraciens), n'apporterait pas le facteur supplémentaire d'efficacité qui se manifeste dans les quelques cas où l'on

constate la réussite complète? Et voici les vérifications correspondantes:

— Des œufs, lavés dans une solution de cyanure de potassium, qui détruit tout élément étranger, ne fournirent jamais, par la piqûre, de développement parthénogénétique.

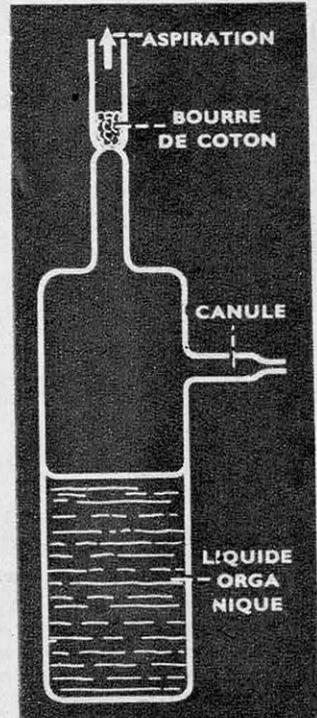
— En utilisant du sang de cheval, dont on a séparé le sérum, les globules rouges ou hématies sans noyau, et les globules blancs ou leucocytes nucléés, trois lots d'œufs furent mis en expérience: dans le premier, arrosé de sérum, la piqûre ne donna aucun clivage; les œufs du deuxième lot, badigeonnés avec la purée des hématies, se segmentèrent dans une proportion infime et négligeable; dans le troisième lot, souillé par les leucocytes nucléés, il y eut 75 % de développements parthénogénétiques.

### Un noyau cellulaire est indispensable

La preuve fut ainsi faite que la technique de parthénogénèse par piqûre exige l'inoculation d'un élément cellulaire porteur d'un noyau. Cet élément peut d'ailleurs être emprunté à n'importe quel tissu animal.

Il agit comme un facteur de *régulation*, sans lequel l'effort que fait l'œuf piqué pour entrer en division, n'aboutit qu'à une *mitose monocentrique*, dépourvue du *fuseau bipolaire* indispensable à toute véritable division cellulaire. Bien entendu, le noyau banal introduit dans l'œuf ne remplace pas totalement le spermatozoïde, car il ne fournit pas, comme celui-ci, un apport de chromosomes

**Les liquides organiques** eux-mêmes sont naturellement stériles et le demeurent indéfiniment lorsqu'ils sont mis à l'abri des poussières des germes. Pour le démontrer, Pasteur utilisa l'éprouvette ci-contre: la canule est introduite dans l'organe (vessie, vaisseau sanguin, etc.), une aspiration appelle le liquide au fond de l'éprouvette, on ferme la canule à la lampe, et une bourre filtrante est placée dans la branche verticale.



porteurs d'une hérédité paternelle; et le jeune batracien, issu d'une expérience de parthénogénèse, n'hérite que des caractères apportés par l'ovule. Mais l'expérience de Bataillon ne représente pas moins un pas important vers l'explication d'un des processus vitaux les plus obscurs, celui dont dépend la naissance de tout nouvel individu.

### Le développement expérimental de l'endocrinologie

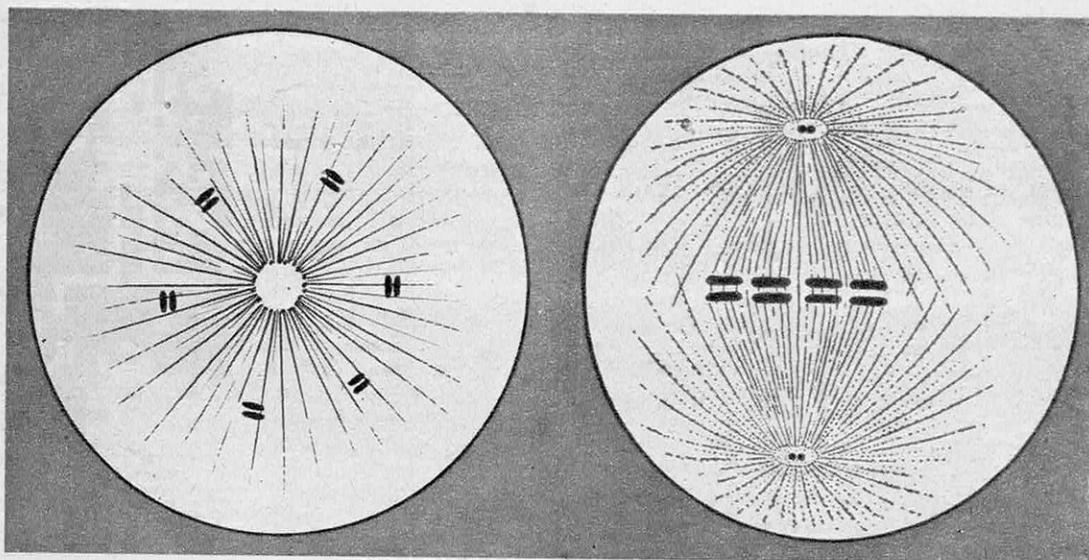
Depuis le début de ce siècle, la physiologie s'est enrichie d'un chapitre à peu près entièrement nouveau et d'un intérêt considérable, où ont pris une place de premier plan des organes qui, comme la thyroïde et les capsules surrénales, étaient encore regardés comme des organes inutiles. Il s'agit du rôle des substances chimiques ou *hormones*, qui sont produites par des glandes à *sécrétion interne* (d'où leur nom de substances *endocriniennes*) et répandues par le sang dans tout l'organisme; elles vont ainsi exercer leur action stimulante sur certains organes, et leur intervention est, dans chaque cas, la condition indispensable et précise de certaines fonctions, les unes localisées et limitées, les autres plus étendues, toutes d'une importance essentielle dans la vie des Vertébrés. On sait aujourd'hui que les Invertébrés ont aussi leurs hormones spéciales, et l'on connaît chez les plantes des exemples de stimulation chimique qui confirment la valeur de l'*endocrinologie*

comme science biologique de portée générale.

C'est à la méthode expérimentale, par excellence, que l'endocrinologie doit d'avoir pu se constituer, et nulle science n'est aujourd'hui plus assurée de ses résultats essentiels. L'expérience type consiste dans l'ablation des glandes considérées comme sources d'hormones: les résultats du déficit endocrinien, rapportés par comparaison aux phénomènes de l'organisme normal, définissent l'action physiologique de ces glandes et de leurs produits. La contre-épreuve de rigueur conduira à annuler les effets précédents, en restituant au sujet d'expérience l'hormone dont on l'a privé. On y parvient, soit en greffant dans son organisme un fragment suffisant de la glande supprimée, soit en lui administrant par injection l'extrait chimique de cette glande.

Voici, à titre d'exemple, comment l'étude des hormones génitales a révélé le mécanisme chimique de la détermination des sexes.

La pratique de la castration chez les animaux domestiques avait enseigné depuis longtemps que la privation des testicules modifie, chez le mâle, les caractères morphologiques propres à ce sexe: atrophie des organes génitaux, allongement du squelette, adiposité plus marquée, diminution de la pilosité du corps ou transformation du plumage, abolition de l'instinct sexuel, etc. Toutes les particularités du sexe mâle ainsi modifiées sont donc sous le contrôle des testicules; elles peuvent être restaurées, au moins chez le sujet jeune, soit par greffe de testicules, soit par injection d'ex-



**Division d'un œuf.** A gauche, division monocentrique: l'ovule ayant été excité par une simple piqûre, une vaste irradiation est centrée sur un pôle unique autour duquel les chromosomes, clivés comme pour une division normale, se disposent régulièrement; mais ils ne peuvent

se répartir par moitié entre des pôles opposés et la tentative de division avorte. A droite, division normale: une double irradiation apparaît aux pôles de l'œuf; les chromosomes clivés se placent à l'équateur et vont se répartir par moitié pour constituer les noyaux des deux cellules nouvelles.

TISSU PROPRE DU FOLLICULE

ENVELOPPE  
DU FOLLICULE

SPERMATOZOÏDES

OVOCYTE

LIQUIDE FOLLICULAIRE

SPERMATOZOÏMES

TISSU INTERSTITIEL

TUBES  
SÉMINIFÈRES

**Coupes d'ovaire et de testicule**  
d'après P. Bouin. A gauche, c'est dans la couche profonde de l'enveloppe du follicule (ici de l'ovaire d'une rate) que se trouvent les cellules glandulaires sécrétant l'hormone femelle. A droite, on voit plusieurs tubes séminifères dans

la coupe transversale d'un testicule de lapin; leur paroi est formée de nombreuses cellules mâles qui évoluent vers le centre en devenant spermatozoïdes (ils s'accablent en faisceaux dans la lumière du tube). Dans les intervalles, le tissu interstitiel, plus sombre, produit l'hormone mâle.

trait testiculaire. On peut d'ailleurs demander à n'importe quelle espèce de Mammifère l'extrait testiculaire actif destiné à agir sur d'autres espèces (on sait que l'hormone mâle elle-même est aujourd'hui fabriquée synthétiquement par la chimie biologique).

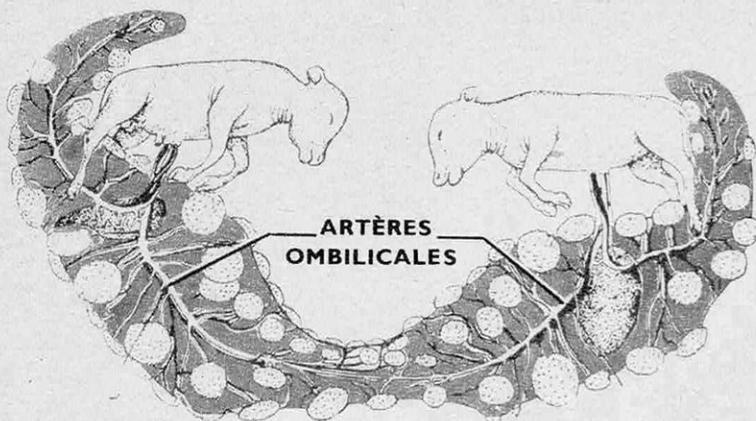
### Les hormones sexuelles

Quelle est la source précise de cette hormone dans le testicule? Il a fallu un luxe énorme d'expériences, dont l'exposé débordait amplement cet article, pour établir que la partie endocrine de la glande mâle était représentée par des *cellules interstitielles*, disséminées entre les *tubes séminifères*, partie fertile où siègent et mûrissent les cellules mâles évoluant en spermatozoïdes. Ainsi, le testicule, pourvu d'une structure double, exerce deux fonctions distinctes : la fonction génitale qui consiste à mûrir les éléments fécondants ; l'autre qui peut être nommée sexuelle parce qu'elle confère à l'organisme toutes les propriétés et caractéristiques du sexe mâle, propriétés dues à l'action d'une hormone propre appelée *testostérone*.

Des conditions symétriques, quoique avec une structure toute différente, sont réalisées dans l'ovaire de la femelle : d'une part, il

nourrit et mûrit les jeunes cellules reproductrices qui, enfermées chacune dans un follicule spécial, deviennent des ovules destinés à être pondus et, éventuellement, fécondés ; d'autre part, il possède des cellules glandulaires spéciales, comparables aux cellules interstitielles du testicule et dont le produit de sécrétion s'accablent dans le liquide des follicules ovulaires ; ce produit actif, c'est l'hormone femelle, appelée *folliculine* ou *œstrone*. Passant dans les capillaires ovariens et se répandant dans tout l'organisme, elle assure la constitution et la maturité de l'appareil génito-mammaire, de même que le déroulement des cycles de la reproduction.

Les hormones sexuelles représentent la condition immédiate et directe de la réalisation morphologique du sexe chez les Vertébrés. Ce sexe a déjà reçu, lors de la fécondation qui a donné naissance à l'individu, sa détermination la plus profonde : elle est de nature *génétique*, c'est-à-dire liée à la combinaison de chromosomes que le hasard a assignée à l'œuf fécondé (48 chromosomes chez l'homme, 47 chez la femme). Dans le cas normal et général, l'action de l'hormone, mâle ou femelle, qui sexualise les cellules reproductrices, les organes génitaux internes



**L'intersexualité** de la femelle, sœur d'un mâle normal, est due à la soudure des vaisseaux embryonnaires et des annexes chez les fœtus de bovidés. La femelle est alors plus ou moins transformée en mâle sous l'influence de l'hormone sexuelle de son frère jumeau et est appelée « free-martin ».

et les caractères sexuels externes, s'exerce conformément à la détermination génétique. Mais il peut arriver, par accident, que le facteur hormonal joue dans le sens opposé au sexe génétique, par exemple dans le sens mâle chez un individu qui a la constitution chromosomique d'une femelle, et on va voir quelle monstruosité en résulte.

### Une curieuse expérience de la nature, le « free-martin »

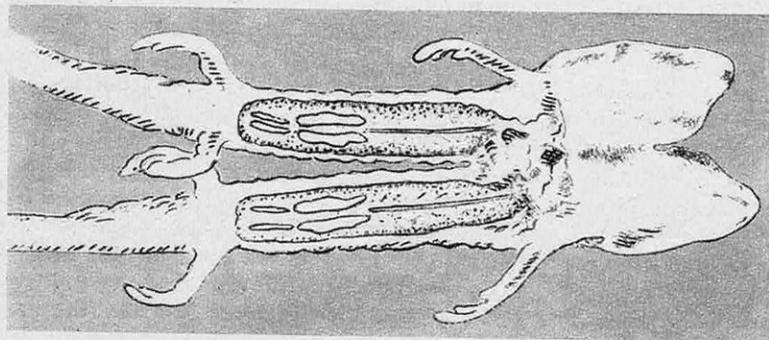
Dans les naissances gemellaires résultant, chez la Vache, de la fécondation simultanée de deux ovules différents, les deux veaux jumeaux peuvent être soit du même sexe, soit de sexe opposé ; dans ce dernier cas, il arrive fréquemment que la génisse, tout en conservant sa nature génétique de femelle, offre une organisation sexuelle en partie mâle, qui en fait une sorte de monstre sexuel. Tel est le *free-martin*, ainsi désigné du nom employé par les éleveurs de langue anglaise et adopté par le langage scientifique.

Tandis que le veau normal se développe en un taureau parfaitement fécond, le free-martin offre un mélange de caractères anatomiques des deux sexes : les organes génitaux internes peuvent être presque complètement ceux d'un mâle. Cette *inversion sexuelle*, ou changement de sexe survenu au cours de

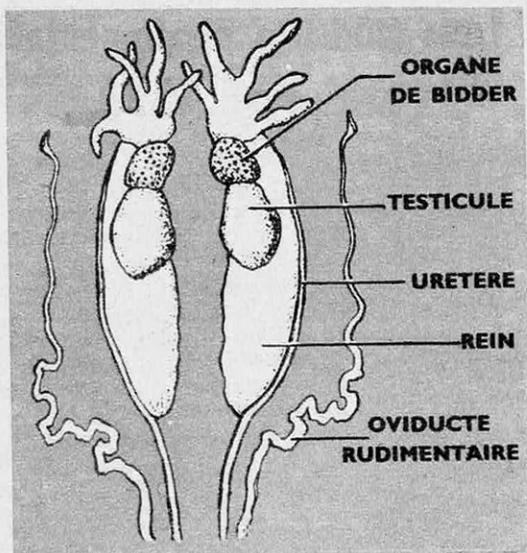
la vie fœtale, fait de la femelle un *intersexué*, c'est-à-dire un être de sexe indécis (on disait autrefois un *hermaphrodite*) toujours stérile. D'où provient cette anomalie ?

Les biologistes, F.-R. Lillie, d'une part, Tandler et Keller, de l'autre, ont montré simultanément qu'elle avait pour cause la fusion des enveloppes embryonnaires des deux veaux jumeaux, accompagnée de la mise en communication des artères ombilicales. Cette disposition, qui permet le passage du sang d'un individu à l'autre, est plus ou moins précoce et peut être réalisée chez des embryons de 4 millimètres. A partir de ce moment l'hormone sexuelle, déjà produite par le fœtus mâle, passe dans le corps de la femelle et inverse chez elle la différenciation du sexe. La transformation de la génisse en mâle est d'autant plus accentuée que la liaison vasculaire entre les deux jumeaux a été plus précoce, et que l'hormone mâle a agi plus tôt sur le développement de la femelle.

Le cas du free-martin représente donc une sorte d'expérience naturelle qui offre même les contre-épreuves indispensables de vérification. F.-R. Lillie a étudié une quarantaine de naissances de veaux jumeaux de sexe différent. Sur ce nombre, il n'y avait que 6 génisses normales sans trace d'intersexualité ; or, dans ces six cas l'examen anatomique ne rencontra aucune trace de liaison artérielle



**Unis en « parabiose »** (c'est-à-dire soudés côte à côte, ces deux embryons d'*Axolotl* (ou larve d'*Amblystome*) servent à étudier l'inversion du sexe par action de l'hormone d'un des individus sur l'autre.



**Chez le crapaud mâle**, l'ablation des testicules provoque le développement des organes de Bidder : ces ovaires rudimentaires se transforment alors en ovaires fonctionnels, féminisent tout l'organisme et, au bout de deux ans, l'animal est capable de se comporter en femelle.

prévalence revient à l'hormone mâle qui transforme le sujet femelle en intersexué. Dans ces expériences, comme dans le cas naturel du free-martin, on voit donc s'affirmer l'action inductrice exercée par le mâle.

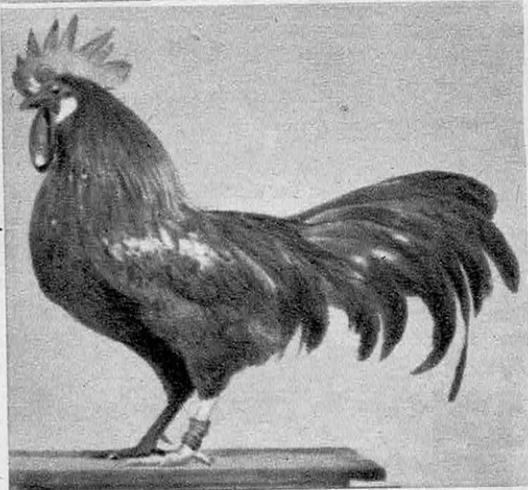
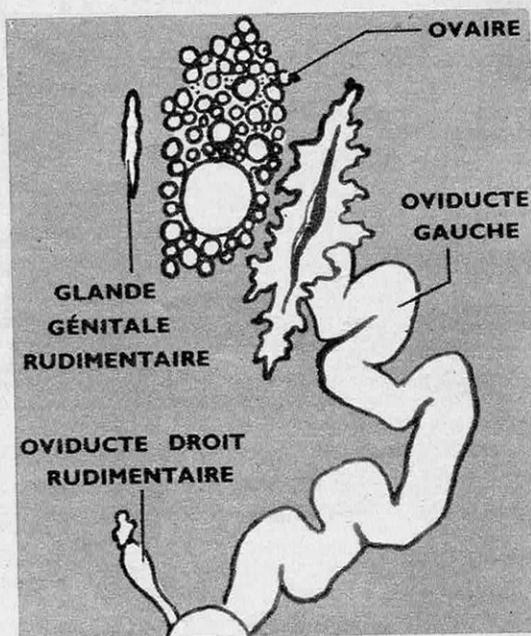
### Inversions sexuelles expérimentales

Les conditions de la sexualité des Vertébrés sont telles qu'elles ouvrent des possibilités fort diverses à l'expérimentation pour transformer un sexe dans l'autre : l'une d'elles consiste dans une simple ablation des glandes géni-

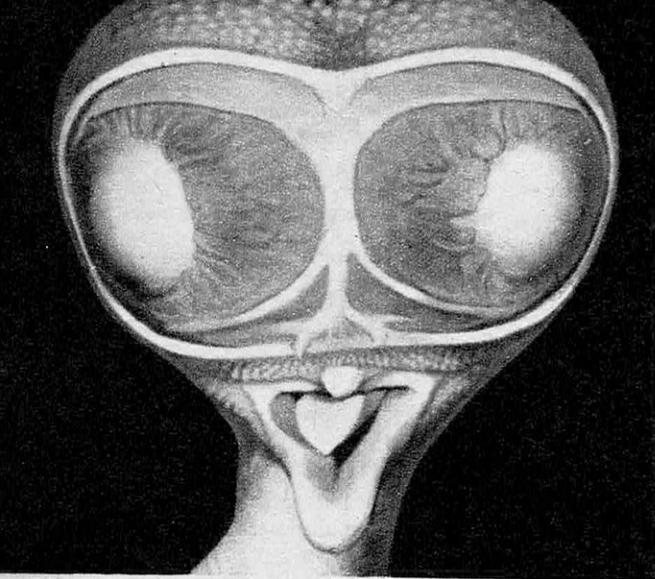
entre les deux jumeaux. En outre, chez d'autres mammifères comme le Mouton, où il ne s'établit jamais de connexions vasculaires entre fœtus jumeaux, on ne connaît pas d'exemple d'intersexualité analogue au free-martin.

L'union des fœtus de Bovidés par connexion vasculaire réalise un exemple de *soudure d'embryons* que les biologistes savent répéter sous d'autres formes, et qui est désignée sous le nom de *parabiose*.

La parabiose a été amplement pratiquée chez les Batraciens par les expérimentateurs américains Burns, Humphrey, Witschi, dans le but d'étudier les conditions de l'inversion du sexe par influence mutuelle. Elle consiste, chez l'Axolotl (*Amblystoma*) ou chez la Grenouille, à souder deux jeunes larves côte à côte en les maintenant accolées par une zone de contact dont on a excisé l'épiderme. Dans les couples de même sexe génétique, les deux individus ont leur constitution sexuelle normale ; dans les paires mixtes, l'un des membres devient *intersexué* sous l'influence de son partenaire, et ses glandes génitales sont transformées plus ou moins profondément suivant la durée de l'expérience. Le facteur en jeu est évidemment l'une ou l'autre des hormones sexuelles qui prévaut sur l'hormone du sexe opposé. Dans le cas le plus général, la



**Chez la poule**, l'ablation de l'unique ovaire fonctionnel gauche entraîne le développement de la gonade rudimentaire droite qui s'édifie en testicule fonctionnel. La poule acquiert en quelques mois les caractères d'un coq. La photo du bas représente une poule Leghorn de deux ans et trois mois, qui a subi, à l'âge d'un mois, l'ablation de l'ovaire. Le développement des caractères mâles est frappant : crêtes, plumage, ergots...



## Trois monstres expérimentaux obtenus par rayons X

Les deux premiers embryons de poulet sont des cyclocéphales. Dans le premier cas, en haut, l'irradiation, après 30 à 40 heures d'incubation, a été localisée entre les ébauches oculaires sur l'ébauche de la tête. On notera les yeux situés dans une même orbite avec des paupières communes, et l'absence du demi-bec supérieur. Dans le second cas, au milieu, il s'agit d'un cyclope à œil unique, rudimentaire, logé dans une petite orbite médiane (on voit, à gauche, l'un des conduits auditifs); l'irradiation avait eu lieu après 20 à 24 heures d'incubation. Dans le troisième cas, en bas, il s'agit d'une symélie postérieure : l'irradiation de l'embryon s'est faite entre les ébauches des pattes et le monstre présente une patte unique pourvue de sept doigts, résultat de la fusion précoce des deux ébauches.



tales ; la castration a pu être appliquée au Crapaud mâle pour le transformer en femelle, et à la Poule pour en faire un Coq.

Il existe, chez les Crapauds des deux sexes du genre *Bufo*, à l'extrémité antérieure des glandes génitales, un organe particulier désigné sous le nom d'*organe de Bidder* et ayant la structure d'un ovaire rudimentaire. La présence de cet organe est surtout remarquable chez le mâle, car elle marque d'une façon évidente le caractère hermaphrodite commun à l'appareil génital de tous les Vertébrés, mais qui reste généralement méconnaissable.

Si l'on enlève à l'animal ses testicules ou ses ovaires en respectant les organes de Bidder, ceux-ci se développent et forment des ovaires fonctionnels (K. Ponse, 1924). Chez la femelle, ils remplacent purement et simplement ceux qui ont été supprimés. Chez le mâle, leur entrée en fonction entraîne une féminisation de tout l'organisme : au bout de deux ans, l'ancien mâle est devenu, quoique possédant toujours sa constitution chromosomique d'origine, capable de se comporter comme une véritable femelle et de pondre des œufs fécondables donnant des individus nés ainsi de deux pères authentiques.

### D'une poule on fait un coq

C'est une expérience analogue, mais de sens inverse, qui a pour résultat de transformer la Poule en Coq. L'appareil génital femelle est asymétrique ; il comprend, du côté gauche, un ovaire bien développé et fécond, dont les ovules sont recueillis dans la trompe d'un long oviducte contourné ; en revanche, du côté droit, la glande génitale n'est représentée



que par une mince formation blanchâtre, l'oviducte étant simplement indiqué par un rudiment très court et sans fonction.

Convaincu que la glande génitale droite de la Poule était « une glande testiculaire en puissance », J. Benoit supposa que le développement de cette glande en un véritable testicule était inhibé par la présence de l'ovaire gauche actif et l'action antagoniste de son hormone propre. Pour vérifier cette hypothèse, il effectua l'ablation de l'ovaire.

La Poule castrée très jeune (moins d'un mois) poursuit sa croissance et acquiert en quelques mois la crête, le plumage, les ergots du Coq, parfois son chant caractéristique, plus rarement l'instinct sexuel mâle. La gonade droite s'édifie en un testicule fonctionnel producteur d'hormone mâle et de spermatozoïdes mobiles et bien vivants, bien que ne paraissant pas aptes à la fécondation.

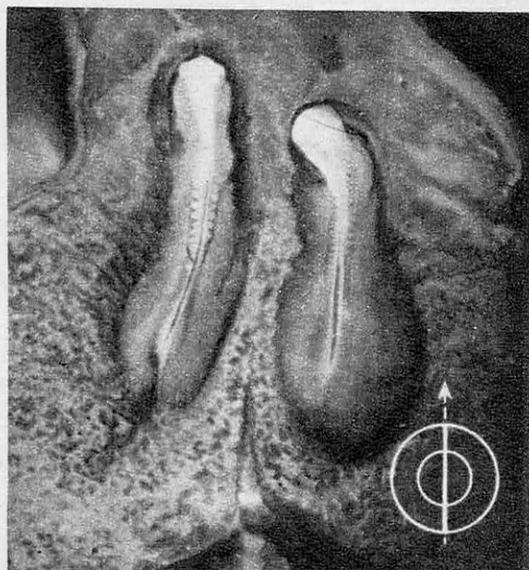
Une telle expérience est remarquable par le caractère accompli et parfait de la sexualité artificielle imprimée à l'animal. Que cette sexualité, contraire au sexe chromosomique, ne soit ici que temporaire, ne diminue en rien le succès et la valeur du résultat.

La castration du Crapaud mâle et l'ovariectomie gauche de la Poule, apportent sur les phénomènes de la sexualité des enseignements précieux ; elles démontrent l'hermaphrodisme latent des Vertébrés et la possibilité de « déverrouiller » les potentialités par une modification des conditions hormoniques.

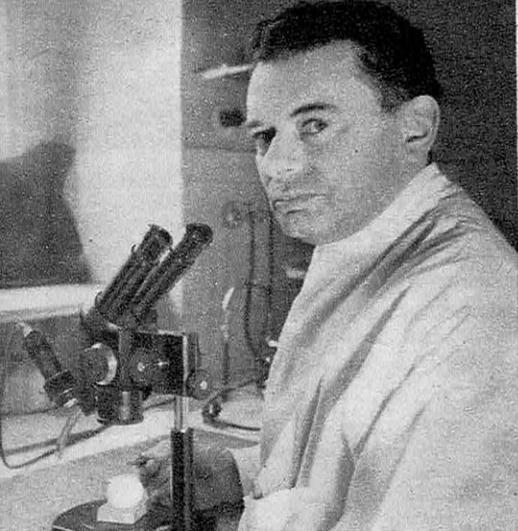
### Monstres expérimentaux

Les organismes que l'on désigne du nom de *monstres* ont été regardés jadis comme des êtres « contre-nature », et la possibilité de les classer, comme les êtres normaux, dans des groupes, genres et espèces distincts, conduisait à y voir une sorte d'ordre opposé à l'ordre naturel. Même pour qui pensait que rien n'existe qui n'appartienne à l'ordre de la nature, parce que, comme disait Montaigne, « rien n'est que selon elle, quel qu'il soit », les monstres apparaissaient alors comme issus du jeu ou du tâtonnement d'une nature capricieuse, maladroite, et échappant comme tels à toute connaissance rationnelle. Or il suffit de remarquer qu'ils ne sont monstres que par comparaison avec les types normaux pour

penser que leur formation est soumise, comme celle de ces derniers, à des conditions définies que le biologiste pourra découvrir en usant de la méthode expérimentale. C'est en cherchant à faire, à partir d'un embryon, tel ou tel monstre caractérisé, que l'on définira par quel concours de moyens accidentels ou fortuits il se constitue spontanément. Non seulement la *térotogénèse expérimentale* (ou création expérimentale de monstres) a, en soi, l'intérêt d'éclairer la naissance et la vraie nature de



**Embryons doubles** expérimentaux de canard. L'embryon de l'œuf non incubé, qui ne présente aucune différenciation, a été fissuré à l'aide d'une fine aiguille de verre suivant un diamètre longitudinal (en haut) ou transversal (en bas). On obtient respectivement des embryons doubles soit parallèles, soit à la suite l'un de l'autre (avec même orientation ou tête-bêche).



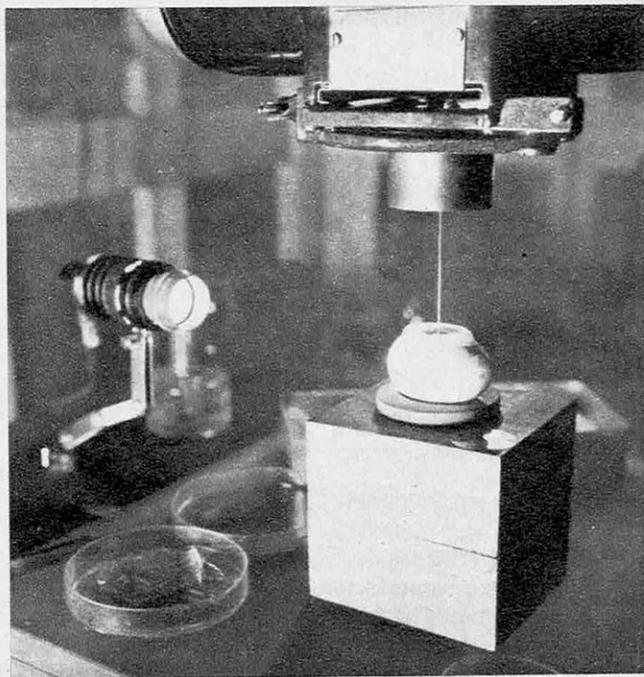
**Le professeur Et. Wolff.**

## Le laboratoire des monstres

C'est au laboratoire de P. Ancel, à l'Université de Strasbourg, qu'Etienne Wolff a reproduit, sur le Poulet, les monstruosité connues à l'état spontané, les mêmes conditions expérimentales (stade embryonnaire, territoire lésé, dose de rayons X) donnant toujours la même espèce de monstruosité. De ces travaux, il résulte que toute lésion capable de produire chez un embryon un arrêt de développement localisé peut provoquer la formation d'un monstre. L'élimination d'une ébauche lésée entraîne, dans les ébauches des organes voisins, des remaniements qui permettent la fusion des parties homologues et symétriques.



**Une fenêtre** pratiquée dans la coquille permet de suivre le développement de l'embryon.

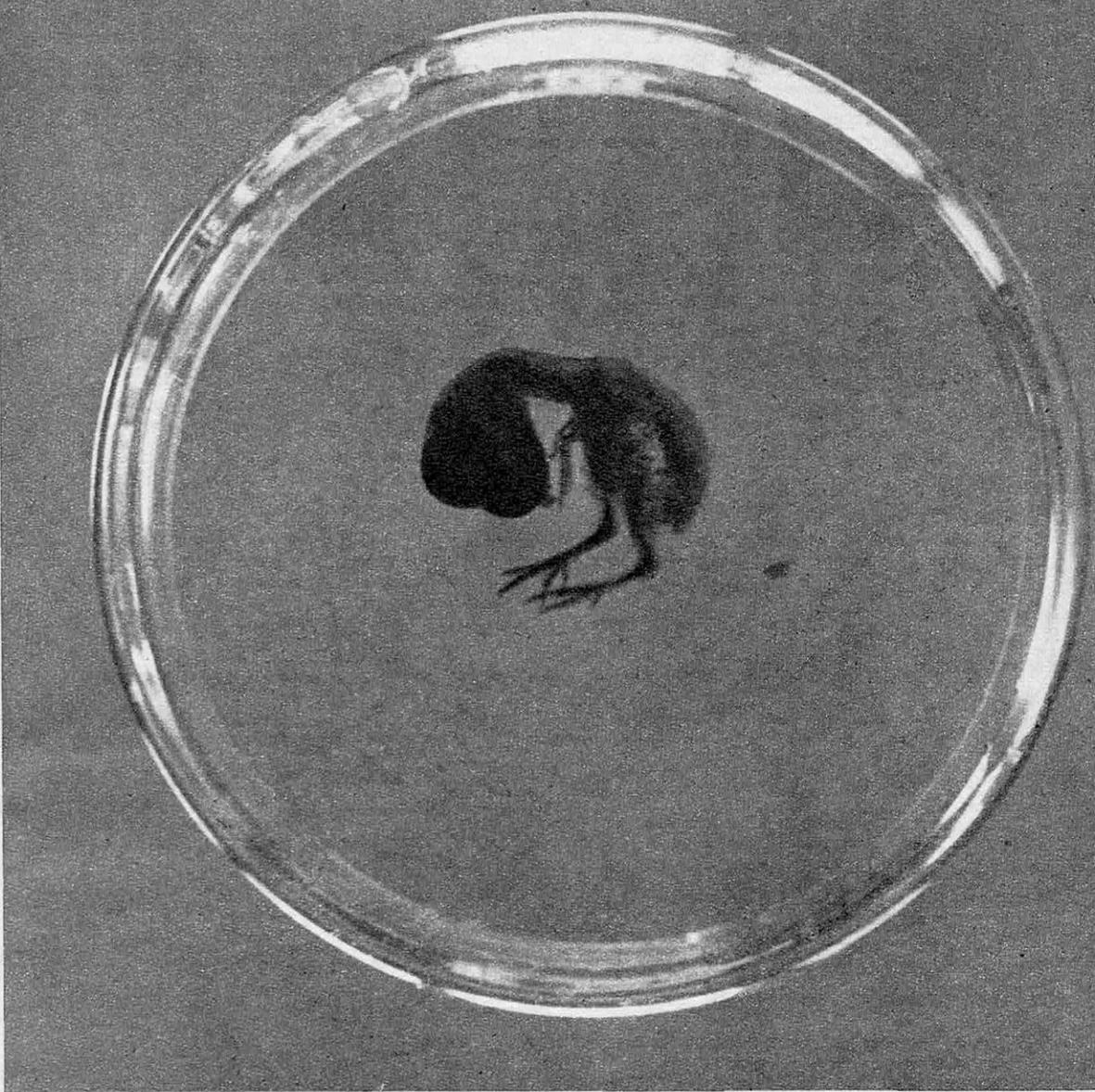


**L'irradiation** aux rayons X produit, sur l'embryon, une lésion localisée avec précision.

ces êtres étranges et déconcertants que sont les monstres, mais, en définissant ce qui a manqué à l'organisme anormal pour qu'il soit normal, elle explique les conditions essentielles de l'organogenèse correcte.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, Geoffroy-Saint-Hilaire et Dareste posèrent les bases de la tératologie ou science des monstres. « En réalité, disait Dareste, je ne puis voir dans la monstruosité autre chose qu'une modification du développement, le plus souvent un arrêt provoqué par une cause accidentelle. » Telle est l'idée qui guide les expériences de la tératologie moderne : elles visent à produire un arrêt du

développement en employant les rayons X suivant une technique mise au point dans le laboratoire de P. Ancel, à Strasbourg. Ainsi, Etienne Wolff, de 1933 à 1936, a reproduit systématiquement sur le Poulet la plupart des monstruosité actuellement connues à l'état spontané : omphalocéphalie (hernie du cerveau dans la cavité de l'intestin avec déplacement du cœur sur l'arrière de la tête), cyclopie (formation d'un œil unique), malformations faciales diverses, cœlosomie (éventration plus ou moins étendue du thorax et de l'abdomen), hémisomie (suppression de la partie postérieure du tronc), ectromélie (atro-



**Le monstre** ainsi créé n'a, à volonté, qu'une patte, qu'un œil, pas de bec, etc. Il suffit de

remettre l'œuf irradié en couveuse pendant les 21 jours que dure la période d'incubation normale.

phie complète d'un ou plusieurs membres), symélie (soudure des membres postérieurs), etc.

L'expérience montre que « *n'importe quel embryon peut être transformé en un monstre de type déterminé à l'avance...* C'est la preuve que, jusqu'à un certain stade du développement, qui est celui de l'intervention expérimentale, l'individu normal et le monstre suivent la même évolution ». (Et. Wolff.)

Les remaniements et les développements qui s'accomplissent dans le germe à la suite de l'élimination d'une ébauche témoignent d'une faculté de réorganisation plus ou moins

active à laquelle on donne le nom de *régulation*. Elle apparaît dans l'évolution des monstres syméliens réalisés par Et. Wolff, mais sous une forme restreinte où elle ne compense pas ce qui manque. On va la voir se manifester avec un pouvoir beaucoup plus intense dans la formation des embryons doubles.

### **Jumeaux expérimentaux**

La gémellité se présente chez les animaux sous deux formes différentes par leur origine et leur nature : le premier type, le plus fréquent, est celui des *jumeaux pluvitellins* ou

faux jumeaux ; ils ont pour origine des ovules qui, échappés en même temps des ovaires de la mère, ont été fécondés simultanément et donnent une portée de petits plus ou moins nombreux, ainsi qu'on le voit chez beaucoup de Mammifères. Les *jumeaux univitellins* ou vrais jumeaux, beaucoup plus rares à l'état naturel, ont pour caractéristique d'être les produits d'un œuf fécondé unique ; ils résultent d'une subdivision accidentelle du germe, que les expérimentateurs savent imiter, par des procédés appropriés, chez certains animaux comme les Echinides (Oursins) et les Amphibiens (Tritons). Mais la fragmentation du germe peut avoir aussi le caractère d'un phénomène régulier et normal chez les Mammifères du genre *Tatusia* (Tatous), où elle donne lieu à une *polyembryonie* constante. En dehors de ce cas, la naissance des jumeaux univitellins est toujours le fait d'un accident embryonnaire, dont la cause et l'origine restent obscurs et qui aboutit à la formation soit de jumeaux, soit de monstres.

Ce sont ces résultats que, sous la direction d'Etienne Wolff, un de ses élèves, H. Lutz, a reproduit expérimentalement, en 1949, sur le germe du Canard. La méthode consiste à fissurer, à l'aide d'une fine aiguille de verre, le germe d'un œuf de Cane non encore incubé, de manière à le diviser en deux moitiés. On peut orienter la fissure opératoire soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal : dans le premier cas, *deux embryons complets* se développent côte à côte ; dans le second, ils sont disposés à la suite.

### La régulation, facteur de vie

Ces résultats montrent l'extraordinaire pouvoir de régulation de l'embryon d'Oiseau. Lutz, développant ses recherches, a montré que n'importe quelle partie isolée du germe est *totipotente*, c'est-à-dire qu'elle peut donner naissance à un embryon complet, et il a pu faire expérimentalement, à partir du germe du Canard, non seulement des jumeaux doubles, mais des jumeaux multiples, ainsi que les différents types de monstres doubles ou jumeaux restés unis par des parties communes.

De telles expériences apportent une sensationnelle démonstration des potentialités incluses en toutes les parties d'un œuf d'Oiseau et qui permettent à un embryon encore indifférencié d'opposer d'immenses ressources organisatrices, sources d'une vie multipliée, à l'accident qui, sur l'organisme adulte, serait cause certaine de mort. Dans l'œuf sont *anticipés* tous les phénomènes de répartition ordonnée qui, en réponse à des causes fortuites de destruction, aboutissent à une formation accrue

d'individus. C'est là strictement une constatation de fait, non une interprétation philosophique ou mystique des phénomènes : la régulation est une manifestation de la *finalité* positive de la vie.

Mais alors, comment comprendre que, dans les conditions normales, il ne se forme qu'un seul embryon ? On peut admettre, comme le suggère E. Wolff, que, lorsque des parties totipotentes collaborent à la formation d'un organisme unique, c'est par un processus de même sorte que celui qui, dans les cas d'arrêt de développement, unit les parties similaires (par exemple chez les monstres cyclopes ou les syméliens) ; dans les deux cas, il se forme une unité avec le matériel disponible. On ne voit pas comment on pourrait échapper à cette conclusion que, dans le minuscule grumeau de protoplasme que représente un germe ovulaire, sont préparées d'avance toutes les conditions qui peuvent assurer au mieux la persistance de la vie et même sa multiplication.

### La nature vivante : monde de raison

Exposer quelques exemples, si remarquables soient-ils, des résultats qu'apporte la méthode expérimentale en biologie, ne peut suffire à donner une idée juste des services qu'elle rend dans toutes les études de la vie.

Partout, les rapides progrès accomplis dans la connaissance des êtres vivants attestent que la méthode expérimentale est, par excellence, celle de la science.

Parce qu'elle montre les phénomènes vitaux toujours soumis à la loi du déterminisme, elle trouve, dans cette loi, à la fois la justification de son emploi et la raison de son efficacité. En un mot, elle apporte la certitude que la nature vivante est un monde de raison, où rien n'arrive que par la liaison nécessaire des effets et des causes.

Est-ce dire qu'il faille attendre de la méthode expérimentale une explication totale de la vie ? Celle-ci n'est-elle en chaque être qu'une simple somme de phénomènes déterminés ? Le savant qui a posé la loi de leur déterminisme n'a point manqué de souligner que le caractère premier de l'être vivant résidait dans « l'ordonnance préétablie », qui fait dans cet être « l'admirable subordination et l'harmonieux concert des actes de la vie ». (Cl. Bernard.) C'est là, dans cette *pré-ordination*, que subsiste le mystère qui nous cache le mécanisme vital assurant le triomphe constant et magnifique de la vie.

LOUIS BOUNOURE  
Professeur de Biologie générale  
à la Faculté des Sciences de Strasbourg

# DU SOLEIL AU CRISTAL

« **C**APTER l'énergie du soleil et la mettre au service de l'homme », tel est le rêve grandiose exprimé par 500 savants du monde entier réunis en congrès aux Etats-Unis, au mois de novembre.

Bien plus encore que l'énergie atomique, l'énergie solaire, si elle était domestiquée, pourrait devenir une source de bien-être immense pour l'humanité. A chaque seconde, en effet, le soleil dégage une quantité d'énergie évaluée à 100 milliards de milliards de kilowatts.

Mais déjà ce rêve commence à devenir réalité : des chaudières solaires expérimentales fonctionnent aux Etats-Unis et en U.R.S.S. ; le chauffage solaire est entré en application aux Etats-Unis. En France même, un « four solaire » vient d'être installé dans les Pyrénées, à Mont-Louis, tandis qu'une véritable usine solaire est sur le point d'être construite au Sahara.

Pourquoi, à propos de la fabrication du sucre, évoquer les perspectives scientifiques et industrielles de l'« héliotechnique » ?

Parce que, par une anticipation extraordinaire, et alors que les problèmes de l'énergie ne préoccupaient encore personne, l'industrie sucrière a été la première, avec la complicité bienveillante de la nature, à capter et à matérialiser l'énergie du soleil.

## L'industrie sucrière, auxiliaire de la nature.

Il n'y a que quelques années que le mécanisme physiologique qui aboutit à la formation du sucre est pleinement connu : un merveilleux moteur solaire fonctionne dans la transparence verdâtre des cellules végétales. Toute feuille verte soumise aux rayons du soleil est capable de fixer une part importante de l'énergie lumineuse reçue et de transformer en énergie biologique la lumière ainsi emmagasinée dans ses cellules. Ce phénomène est appelé *photosynthèse*.

Le sucre est le résultat de cette transformation. Il est composé de trois éléments essentiels à toute vie : carbone, hydrogène, oxygène. L'union de ces trois éléments, au sein des cellules végétales, ne peut s'effectuer que grâce à l'action de la lumière solaire sur la matière colorante verte de la feuille (chlorophylle).

Le rôle de l'industrie sucrière est d'extraire le sucre ainsi formé dans la plante et de le livrer à l'alimentation humaine sous une forme concrète et solide, en lui conservant toute son intégrité.

Disons tout de suite que, lorsqu'il parviendra au consommateur, le sucre sera bien tel que le soleil et la nature l'auront fabriqué : son extraction de la plante où il a été formé, sa purification, sa concentration, sa cristallisation s'effectuent, en effet, sans qu'à aucun moment la moindre altération puisse se produire.

A ce titre, le « fabricant de sucre » est véritablement l'auxiliaire de la nature.

## Deux plantes, un seul produit.

Le sucre que nous consommons en France est tiré essentiellement de deux plantes : la canne produite dans nos colonies, et surtout la betterave cultivée sur notre territoire métropolitain. Qu'il soit extrait de l'une ou l'autre de ces deux plantes, le sucre, une fois cristallisé et purifié, sera rigoureusement identique, tant du point de vue physique que du point de vue moléculaire, et il sera absolument impossible d'en distinguer la provenance. Précisons en effet, au risque de nous répéter, que s'il est emmagasiné par la canne dans sa tige ou par la betterave dans sa racine, le saccharose n'a pas été fabriqué à cet endroit mais bien dans la feuille, sous l'effet de la photosynthèse, d'après un procédé invariable, dont l'homme est loin d'avoir percé le secret. La plante n'est, au fond, que l'usine où se fabrique le saccharose, corps de formule moléculaire bien définie et dont la composition ne

dépend pas de la structure organique particulière des plantes qui l'élaborent. Sucre de canne et sucre de betterave subiront donc exactement les mêmes opérations à partir du moment où le jus sucré aura été extrait de la partie de la plante où il est emmagasiné.

### Extraire, purifier, concentrer.

En prenant pour exemple la betterave, puisque c'est d'elle qu'est tiré le sucre produit en France, examinons rapidement les grandes phases de la fabrication :

1° *L'extraction* du jus sucré contenu dans la racine est obtenue par « diffusion ». Le sucre, soluble dans l'eau, sera entraîné hors des cellules végétales par un courant d'eau chaude. La betterave aura été auparavant découpée en fines lamelles, afin de présenter à l'eau d'extraction le maximum de surface cellulaire, facilitant ainsi la diffusion.

2° Le jus sucré ainsi obtenu est chargé d'impuretés organiques et minérales qu'il importe d'éliminer, si l'on veut sélectionner dans toute son intégrité le saccharose pur élaboré par la photosynthèse. Cette *purification* est peut-être la plus importante de toutes les opérations effectuées dans la sucrerie. A ce stade, en effet, de multiples produits contenus dans la betterave se retrouvent dans la solution sucrée : des acides organiques, des sels minéraux, se préparent à attaquer le sucre tandis que des colorants et des matières colloïdales ou albuminoïdes risquent plus tard de s'opposer à sa cristallisation. Pour éviter que des fermentations ne se produisent, pour « protéger » la molécule de sucre, il faut rapidement éliminer tout le « non-sucre » du jus de diffusion.

Cette épuration est conduite en deux stades et doit être contrôlée avec soin. Au cours du premier stade, on additionne progressivement un lait de chaux au jus de diffusion, de manière à atteindre successivement le point iso-électrique favorable à la floculation de chacune des impuretés colloïdales. Puis les jus ainsi « chaulés » sont soumis à un barbotage au gaz carbonique qui les neutralise et précipite les sels minéraux et l'excès de chaux sous forme d'un carbonate de chaux insoluble. Ce précipité est éliminé par filtration et l'on obtient un jus considérablement épuré. Cette opé-

ration calco-carbonique, suivie de filtration, est répétée une deuxième fois, au cours de laquelle la régulation précise du Ph du jus permet de précipiter les dernières impuretés.

3° Alors commence la dernière phase de la fabrication qui consiste à éliminer l'eau du jus sucré pour obtenir le sucre.

On procède par *évaporation*, dans une série de chaudières successives, jusqu'à obtenir tout d'abord un sirop dense contenant de 55 % à 60 % de saccharose.

Le sirop est évaporé à son tour, par ébullition sous vide, à basse température. Il est porté peu à peu à l'état de « sursaturation ». C'est alors que se produit, spontanément, la *cristallisation* du sucre. Une multitude de cristaux, formés par la « condensation » des molécules de saccharose, apparaissent au sein de la masse en ébullition.

Ces cristaux seront séparés du sirop coloré dans lequel ils baignent (et qui contient encore des impuretés résiduelles) par centrifugation : sur les parois des essoreuses centrifuges, on recueillera un sucre cristallisé d'une éclatante blancheur. Le résidu éliminé contient encore du sucre. Il sera traité et cristallisé à nouveau pour donner, en général, du sucre roux, c'est-à-dire des cristaux encore imprégnés de mélasse.

### Une loi esthétique naturelle ?

Comme on le voit par ce qui précède, le travail de la sucrerie est beaucoup plus un travail de « sélection » que de fabrication proprement dite : isoler les molécules de sucre des cellules végétales qui les entourent dans la plante, les séparer ensuite des impuretés qui les menacent dans l'eau de diffusion, les concentrer enfin jusqu'à ce qu'elles cristallisent, tel est le cheminement de cette sélection.

Mais, là encore, le travail de l'homme se trouve sublimé par l'intervention d'une sorte de loi esthétique naturelle ; la naissance magique et spontanée du cristal, à la pureté transparente, aux lignes géométriques, aux facettes miroitantes, n'est-elle pas un merveilleux et inexplicable phénomène ?

Véritable métamorphose de la lumière solaire, la photosynthèse trouve bien son ultime aboutissement dans ce cristal scintillant, étincelant comme un soleil et voulant peut-être par là témoigner de son origine.

Cette Bibliographie établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général.

**PALÉONTOLOGIE  
PRÉHISTOIRE**

**LA PALÉONTOLOGIE. La Science des fossiles. (Furon R.).** La science des fossiles. Son histoire. Ses enseignements. Ses curiosités. 290 p. 14 x 22,5, 70 fig., 8 planches, nouv. édit., 1951 ..... **600 »**

**MANUEL DE PALÉONTOLOGIE ANIMALE. (Moret L.).** Invertébrés : Les protistes. Les spongiaires. Les coelentérés. Les échinodermes. Les bryozoaires. Les brachiopodes. Les vers. Les arthropodes. Les mollusques. **Vertébrés** : Les poissons. Les amphibiens. Les reptiles. Les oiseaux. Les mammifères. 759 p. 16,5 x 25, 274 fig., 12 tableaux, 3<sup>e</sup> édit. complétée d'un addendum, 1953..... **2.880 »**

**INITIATION A LA PALÉONTOLOGIE. (Termier H. et G.).** Tome I : Généralités. L'Évolution. Invertébrés. 224 p. 11 x 16,5, 22 pl., 1952..... **300 »**

Tome II : Invertébrés. Vertébrés. Paléobotanique. 216 p. 11 x 16,5, 27 pl., 1952 ..... **300 »**

**MANUEL DE PRÉHISTOIRE GÉNÉRALE. (Furon R.).** Géologie et biogéographie. Archéologie préhistorique. Évolution de l'humanité. Les métaux et la protohistoire. 530 p. 14,5 x 23, 180 fig. et cartes, 9 pl., 3<sup>e</sup> édit., augmentée et mise à jour, 1951 ..... **1.200 »**

**LA PRÉHISTOIRE DE L'HUMANITÉ. Introduction à l'étude de l'évolution corporelle et culturelle de l'homme. (Grahmann R. Traduit par Lamorlette L.).** Esquisse de l'histoire de la terre. La descendance de l'homme. Civilisations et histoire de l'homme préhistorique. 332 p. 14 x 23, 107 fig. 8 tableaux, 5 cartes, 1955 ..... **1.300 »**

**LA DÉCOUVERTE DU PASSÉ.** Progrès récents et techniques nouvelles en préhistoire et en archéologie. Etudes réunies et présentées par **Laming A. Problèmes de détection** : La photographie aérienne. Méthodes électriques de prospection en archéologie. Le détecteur électromagnétique. **Le milieu préhistorique** : L'étude des sédiments, base de la reconstitution du milieu physique : le sol, les eaux, le climat. L'étude des vestiges zoologiques. L'étude de la flore. **Le cadre chronologique** : L'analyse des cercles de croissance. La datation des os fossiles par l'analyse de leur teneur en fluor. Le C 14. La datation des matériaux archéologiques et géologiques par leur contenu en carbone radioactif. L'aimantation thermorémanente des terres cuites. **L'étude des vestiges de l'industrie humaine** : Reconstitution des voies de commerce ; l'identification photographique des instruments de pierre. Les microorganismes des silex. Reconstitution des techniques : la poterie. Le métal. Appendices. 364 p. 17,5 x 22,5. 45 fig. 16 pl. photos hors texte, 1952 ..... **1.900 »**

**ORIGINE ET ÉVOLUTION DE L'HOMME. (Goury G.).** Tome I : Époque paléolithique. **Les origines** : Le problème de l'origine de l'homme. Le problème de l'apparition de l'homme. **L'évolution** : Divisions chronologiques. Paléolithique inférieur. Levalloisien et Moustérien. **Paléolithique supérieur** : L'Aurignacien. Le Solutréen. Le Magdalénien. L'art quaternaire. La culture épipaléolithique. 528 p. 13,5 x 20,5. 154 fig. 2<sup>e</sup> édition. 1948..... **800 »**

**FORMULAIRE TECHNIQUE DU PRÉHISTORIEN. (Furon R.).** Les temps quaternaires. Préhistoire et géologie. Biogéographie. L'Homme et les industries. Synchronisme et chronologie. Recherche, étude et conservation des collections préhistoriques. 122 p. 12 x 18,5, 45 fig. .... **200 »**

**ATLAS DE PRÉHISTOIRE. (Alimen H.).**

**Tome I** : Stations préhistoriques. Méthodes en préhistoire. Chronologie. Matières premières et techniques. Archéologie préhistorique de l'Europe : Paléolithique, Mésolithique, Néolithique, métaux, vie des hommes préhistoriques. 205 p. 13,5 x 18,5, 86 fig., 1 carte, 1 tabl., 16 pl. en noir et 4 pl. en coul. h. t. .... **1.200 »**

**Tome II** : Les Faunes préhistoriques de l'Europe (en préparation).

**Tome III** : Préhistoire de l'Afrique. Le Maghreb. Tripolitaine et Cyrénaïque. L'Égypte. Le Sahara et ses bordures méridionales. Éthiopie et Somalies. Afrique Occidentale entre Sahara et Golfe de Guinée. Le Bassin du Congo. Le sud de l'Afrique. Les hommes préhistoriques d'Afrique. L'art africain. Mégolithes africains. Conclusions. 580 p. 13,5 x 18,5, 155 fig. 5 tableaux, 28 pl. dont 3 en couleurs, 1955... **3.000 »**

**LES ANIMAUX PRIMITIFS. (D' Oberthur J.).** Illustré par l'auteur. Invertébrés et vertébrés. 120 p. 22,5 x 28, tirage 2 coul., nombr. illustr. .... **840 »**

**LES ÉTRANGES ANIMAUX PRÉHISTORIQUES. (Hyatt-Verrill A.).** Animaux fossiles. Amphibiens primitifs. L'ère des dinosaures. Ancêtres des oiseaux. Serpents de mer. Bêtes à cornes. Éléphants. Créatures fantastiques. 232 p. 14 x 22, 92 dessins de l'auteur, 1953..... **700 »**

**LES PREMIERS HOMMES. (Bergounioux F.-M. et Glory A.).** Précis d'anthropologie préhistorique. L'homme et ses origines. Étude des restes fossiles. La stabilisation des races. 545 p. 16,5 x 24,5, 272 fig., 4<sup>e</sup> édit. entièrement revue 1952, reliée ..... **3.100 »**

**L'HOMME PRÉHISTORIQUE. Des préhumains aux races actuelles. (Weinert H. Traduit par Montandon G.).** L'élaboration de l'humanité. L'étape du pithécantrophe. L'étape protoneandertalienne. L'étape neandertalienne. L'étape de l'homme du pléistocène. Le mésolithique. Le néolithique. Le cadre racial actuel. Les formes raciales actuelles. La race blanche ou européenne. 360 p. 14,5 x 23, 32 fig. 40 pl. photos hors texte. Nouvelle édition française revue et augmentée. 1944 ..... **600 »**

**LES PREMIERS HOMMES SUR LA TERRE. (Von Koenigswald G.H.R. Traduit de l'allemand par Stéphane P.).** L'arbre aux crânes. Java I. Chine. Java II. Afrique. Europe. Épilogue : l'homme et sa famille. 264 p. 12 x 18,5. 36 dessins. 20 pl. photos hors texte. 1956..... **700 »**

**L'HOMME A LA RECHERCHE DE SES ANCÊTRES. (Senet A.).** Roman de la Paléontologie. Au chevet de l'humanité. Nos grands-pères poissons et leur nombreuse famille. Les « Pourquoi » et les « Comment » de l'histoire de la vie. 342 p. 14,5 x 21, 131 fig., 23 illustr. phot. hors texte, 1954 ..... **990 »**

**AINSI VIVAIENT NOS ANCÊTRES. (Lisner I. Traduit de l'allemand par Daussy H.).** Mésopotamie. Égypte. Phénicie. Perse. Palestine. Inde. Cambodge. Chine. Asie centrale. Japon. Australie. Polynésie, Mélanésie. Amérique du Nord. Amérique du Sud. Amérique centrale. Crète. Grèce. Rome. Carthage. 416 p. 14 x 23, 64 pl. photos hors texte, 16 cartes, 1955..... **1.650 »**

**BIOLOGIE — ÉVOLUTION**

**BIOLOGIE DES RACES HUMAINES. (Millot J.).** Anthropologie biologique. Anthropologie physiologique, pathologique. 222 p. 11 x 16,5, 6 fig., 1952..... **300 »**

**LE GROUPE ZOOLOGIQUE HUMAIN.** Structure et directions évolutives. (Teilhard de Chardin P.). Place et signification de la vie dans l'univers. Un monde qui s'enroule. Le développement de la biosphère et la ségrégation des anthropoïdes. L'apparition de l'homme : ou le pas de la réflexion. La formation de la noosphère : La socialisation d'expansion : civilisation et individuation. La socialisation de compression : totalisation et personnalisation. Directions d'avenir. 172 p. 13 x 20,5, 6 fig., 1956..... 420 »

**LES THÉORIES DE L'ÉVOLUTION.** (Ostoya P.). Origines et histoire du transformisme et des idées qui s'y rattachent avant le transformisme. L'ouverture du débat transformiste. Lamarck. Darwin. Les théories de l'hérédité de Darwin à Weismann. Du néo-fixisme à la génétique et au mutationisme. La Paléontologie transformiste. Les théories générales devant la science moderne. Théories diverses. 317 p. 14 x 23, 5 fig., 1951..... 900 »

**L'HOMME ET L'ÉVOLUTION.** (Vandel A.). L'évolution et la place de l'homme dans la nature. Les enseignements de la zoologie et de la paléontologie. Les modalités de l'évolution. La notion de temps en biologie. L'inanimé et le vivant. L'hérédité. La construction de l'organisme. L'adaptation. Le psychisme. L'évolution du palier humain. Anticipations. 201 p. 13 x 20 ..... 330 »

**RYTHME ET MODALITÉS DE L'ÉVOLUTION.** (D<sup>r</sup> Gaylord Simpson G.). Traduit de l'anglais par Saint-Seine (de P.). Taux d'évolution. Déterminants de l'évolution. Micro-évolution, macro-évolution et méga-évolution. Lignes d'évolution lente et rapide. Inertie, orientation et force vive, organisme et milieu. Modalités de l'évolution. 354 p. 14 x 19, 35 fig., 1950 ..... 605 »

**LE HASARD ET LA VIE DES ESPÈCES.** (Rabaud E.). La notion d'espèce en biologie. La théorie de la sélection naturelle et des « moyens de défense ». Conditions de persistance ou de disparition. La vie des espèces et l'évolution. 275 p. 13 x 19, 34 fig., 1953 ..... 625 »

**HÉRÉDITÉ, VARIATION.** (Simon R.) (Coll. « Les Heures Scientifiques »). Introduction. Les lois de l'hérédité. Complexité des phénomènes d'hérédité. La théorie chromosomique de l'hérédité. La variation. 246 p. 13,5 x 21,5, 85 fig., 1952 ..... 780 »

**INITIATION A LA CONNAISSANCE DE L'HOMME.** (Mabille P.). Du problème de la connaissance, de son évolution à travers le temps, de l'établissement d'une anthropologie synthétique. 202 p. 14 x 22,5, 43 fig., 1949... 580 »

**LES ORIGINES DE LA CULTURE HUMAINE.** (Lips J.-E.). La demeure; le foyer; les ustensiles de cuisine; la parure et ses accessoires; les engins; l'exploitation du sol et de ses produits; l'invention et les premiers métiers; les divertissements. Les voies de communication. La monnaie. L'information et les communications. L'éducation. Les spectacles. La magie et l'inconnu. La mythologie. 355 p. 14 x 23, 216 fig., 1951 ..... 1.200 »

**LE PHÉNOMÈNE HUMAIN.** (Teilhard de Chardin P.). La prévie : l'étoffe de l'univers. Le dedans des choses. La terre juvénile. La vie : L'apparition de la vie. L'expansion de la vie. La terre-mère (Demeter). La pensée : La naissance de la pensée. Le déploiement de la noosphère. La terre moderne. La survie : L'issue collective. Au-delà du collectif : l'hyper-personnel. La terre finale. Le phénomène chrétien. Appendice. 350 p. 14,5 x 19, 4 fig., 1955..... 780 »

**LE MYSTÈRE DE LA VIE.** (Wegmann H.). Traduit de l'allemand par Ghyka M. La question du sens et de la valeur de la vie. Les frontières du monde vivant. Merveilles de l'organisme. De la vie naturelle à la vie de l'esprit. Le monde et son énigme. Dieu et le monde. 357 p. 14 x 23, 1954 1.400 »

**40.000 ANS D'ART MODERNE.** (Mauduit J.-A.). Traces. Psychologie. L'animal, l'homme et son milieu. L'art avant l'« homo sapiens ». Origine de l'art franco-cantabrique. L'homme et la parure. L'homme et la magie. L'homme et la danse. L'Art ibéro-africain. L'Art post-glaciaire européen. 316 p. 14,5 x 21, 240 fig., 36 pl. dans le texte, 51 illustr. fotogr. hors texte, 1954 ..... 990 »

## ŒUVRES DE JEAN ROSTAND

**ATLAS DE GÉNÉTIQUE HUMAINE.** (Rostand J. et Téry A.). Généralités. Modes de transmission des caractères héréditaires. Les groupes et les facteurs sanguins. Le système rhésus. Mode de transmission d'un caractère déterminé par un gène situé sur les chromosomes sexuels. Mode de transmission de deux caractères déterminés par deux gènes situés sur le même chromosome. Mode de transmission d'un caractère déterminé par plusieurs gènes. Hérédité de la longévité. Hérédité des aptitudes. Les jumeaux. 106 p. 22 x 27,5. Nombreuses illustrations et schémas. 1955..... 1.300 »

**BIOLOGIE ET MÉDECINE.** (Rostand J.). L'hérédité des caractères morbides. La correction des tares génétiques. Action des maladies acquises par la descendance. La génétique et les infections. Les virus protéiques. Cancer et génétique. 210 p. 12,5 x 20, 1939..... 310 »

**LES CRAPAUDS, LES GRENOUILLES et quelques grands Problèmes Biologiques.** (Rostand J.). La Parthénogénèse artificielle. La gynogénèse. Anomalies diverses. Production artificielle des anomalies. 220 p. 12,5 x 19,5, 66 fig., 1955 ..... 750 »

**L'HOMME.** (Rostand J.). Introduction à la biologie humaine. Hérédité. Diversité. Sexualité. Variation. Sélection. 196 p. 12,5 x 20, 1941 ..... 350 »

**LES GRANDS COURANTS DE LA BIOLOGIE.** (Rostand J.). La génétique en 1950. L'offensive des Mitchouriniens contre la génétique mendélienne. L'hérédité humaine. L'endocrinologie. L'embryologie. Le problème de l'évolution. La mutation expérimentale. Le progrès par l'arriération. La génération spontanée est-elle possible? 272 p. 12,5 x 20, 1951 ..... 380 »

**INSTRUIRE SUR L'HOMME.** (Rostand J.). L'origine de la vie. L'évolution. La mutation. Le mitchourinisme. Le Lamarckisme. Préformation. La fécondation. L'être futur. Les hormones. L'avenir de la biologie. La génération sans mâle. L'homme maître de la vie. La prolongation de la vie. L'eugénique. Peut-on modifier l'homme? La mort de l'humanité. Etudes et témoignages. 463 p. 14,5 x 21, 1953... 1.200 »

**LA VIE, CETTE AVENTURE.** (Rostand J.). Entretiens avec Paul Bodin. Le miracle de la création. L'aventure d'un embryon singe. Les bébés du XX<sup>e</sup> siècle ont 200.000 ans. L'humanité gaspille ses génies. La femme est le sexe fort. L'homme est le beau sexe. La science peut-elle créer un homme nouveau? La biologie est-elle une « magie positive »? Fille ou garçon au choix? Enfants sans père à volonté. Toutes les maladies seront vaincues. L'homme peut vivre jusqu'à 120 ans. Le sort de la planète et de l'humanité. La science doit nous amener à réformer nos lois et nos mœurs. 254 p. 14 x 20,5, 1953 ..... 600 »

**L'ATOMISME EN BIOLOGIE.** (Rostand J.). Esquisse d'une histoire de l'atomisme en biologie. Histoire des idées relatives à l'origine des monstres. Remarques sur la notion de germe. Leeuwenhoek, Descartes, Diderot et la biologie. La conception de l'homme selon Helvetius et selon Diderot. Montesquieu et la biologie. Cournot et la biologie. Béchamp contre Pasteur. De Béchamp à la biologie soviétique. Retour à Bacon? 278 p. 12 x 19, 1956..... 590 »

### UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

Notre catalogue général (4<sup>e</sup> édition), 4.500 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés, 400 pages, 13,5 x 21 : Franco : 200 francs

Ajoutez 10% du montant total de votre commande pour frais d'expédition.  
C. C. P. Paris 4192-26. - Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

**LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS-9<sup>e</sup>**

# LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, RUE CHAUCHAT, PARIS-IX<sup>e</sup> — TÉL. : TAI. 72-86

## CATALOGUE GÉNÉRAL 1956

Un volume format 13,5 × 21, de 405 pages  
(poids : 400 g), contenant 5 000 titres  
d'ouvrages scientifiques et techniques  
sélectionnés et classés par sujets en  
35 chapitres principaux et 180 rubriques

### 4<sup>e</sup> ÉDITION

Remaniée et mise à jour

## UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

constituant une véritable encyclopédie des livres  
techniques et scientifiques en langue française

**PRIX : 200 FRANCS**

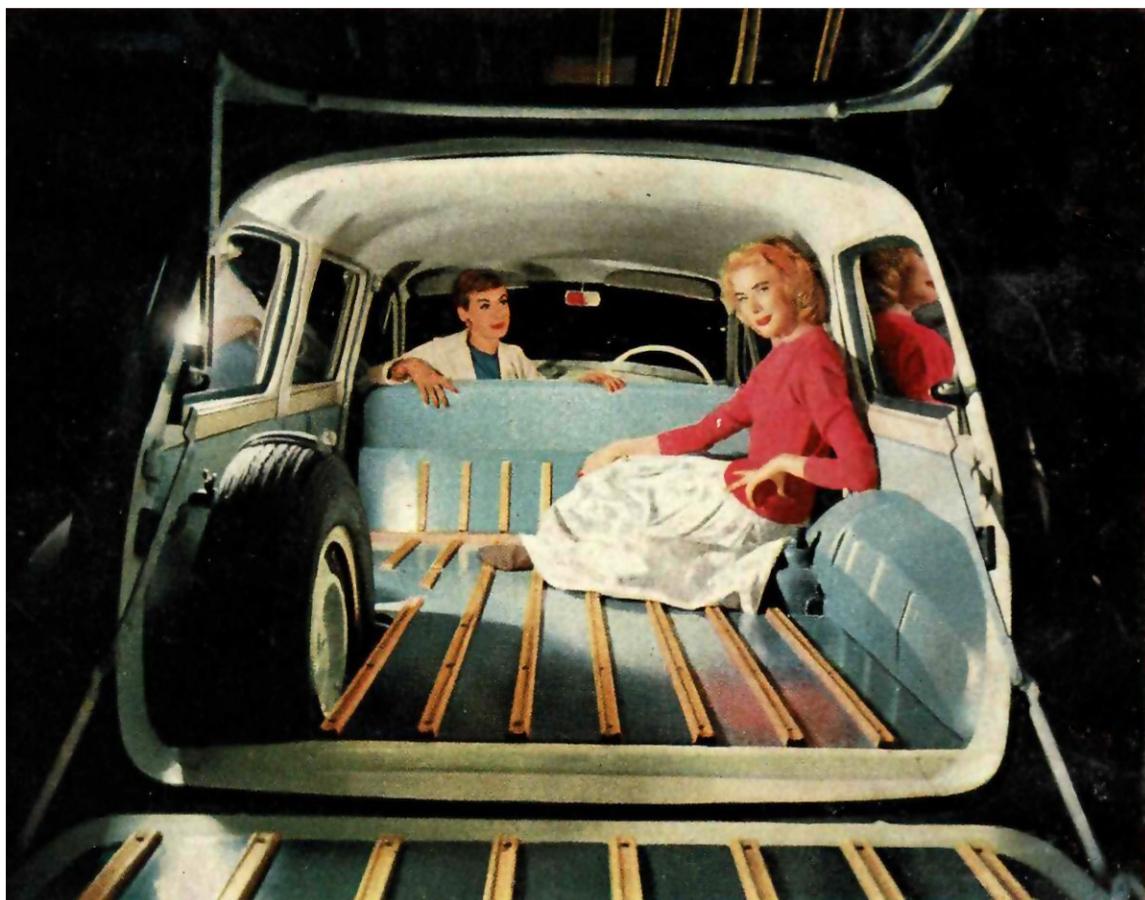
FRANCO DE PORT  
(FRANCE - COLONIES - ÉTRANGER)



Adressez votre commande à la  
**LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE**

24, rue Chauchat, PARIS-9<sup>e</sup> — (C. C. P. 4192-26)

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement



La **DOMAINE** est à sa place dans tous les domaines

**Une Commerciale** pratique et puissante qui s'accommode de tout.  
**Un Break** moderne et soigné pour les voyages en famille, la chasse, le camping  
**Une grande et belle voiture** qui fait valoir votre domaine



MOTEUR ETENDARD 77 CV. 11 litres aux 100 km.  
 135 km à l'heure.

6 places. Volume derrière la banquette : 1 m<sup>3</sup>  
 Charge utile : 600 kg. Volume utile : 2 m<sup>3</sup>. Surface  
 du plancher : 2 m<sup>2</sup> (augmentée au besoin par  
 celle du hayon abaissé). La plus grande de toutes  
 les ouvertures arrière.

**RENAULT**  
 RÉGIE NATIONALE