

Sur certains problèmes posés par les concepts de structure et d'information en biologie

PAR

Patrick BLANDIN

Agrégé-préparateur

Laboratoire de Zoologie de l'École Normale Supérieure, 75-Paris

et

Georges CHAPOUTHIER

Attaché de recherches au C.N.R.S.

Laboratoire de Psychophysiologie, 67-Strasbourg

Les diverses disciplines de la Biologie, en conduisant l'analyse expérimentale des manifestations du vivant selon différentes problématiques, font que le discours biologique présente une certaine hétérogénéité, que la Biologie dite générale n'arrive à réduire qu'incomplètement. En effet la spécialisation dans chacune de ces disciplines est telle que leurs concepts s'élaborent indépendamment ; il ne suffit plus de les rapprocher dans un même texte pour lever la difficulté. Aussi voudrions-nous dans cet article nous demander dans quelle mesure le concept de structure pourrait conduire à une certaine clarification.

D'après la théorie des ensembles, une structure est l'ensemble des relations existant entre les éléments d'un ensemble. Dans « *Le Structuralisme* » (P.U.F., 1968), Piaget, d'une manière plus large, définit une structure par trois caractéristiques : la totalité,

les transformations et l'autorégulation. La *totalité* signifie que, en première approximation, la structure peut être étudiée indépendamment des structures voisines et que le tout qu'elle représente montre des propriétés originales, différentes de celles des éléments qui le constituent : une structure n'est pas une simple juxtaposition d'éléments, mais un ensemble composé par le jeu de relations, ou *transformations*, qui lui sont propres. Ces transformations, inhérentes à la structure, « ne conduisent pas en dehors de ses frontières, mais n'engendrent que des éléments appartenant toujours à la structure » (*Piaget*). Les transformations fonctionnent donc de telle sorte que l'intégrité de la structure est conservée ; c'est en ce sens que l'on peut parler d'*autorégulation*.

Dans l'étude des rapports entre les grands thèmes de la Biologie et le concept de structure, nous partirons d'une perspective spatiale, c'est-à-dire « anatomique » (sous réserve que cet aspect anatomique s'inscrive dans une perspective physiologique et que soient soulignés les rapports de la forme et de la fonction), pour déboucher sur une perspective temporelle. Chaque fois, nous serons renvoyés au problème de l'information qui est sous-jacente à chaque « système » ou « objet » biologique, et que nous prendrons dans le sens d'ensemble des paramètres définissant l'objet biologique considéré.

I. STRUCTURE DE L'OBJET BIOLOGIQUE

A. STRUCTURE SPATIALE

1. *Cas d'un organisme individuel, pluricellulaire*

Un organisme tel qu'un Criquet, ou un Rat, constitue un « objet » biologique immédiat, concret. Sur le plan spatial, un tel organisme présente le caractère de totalité, d'intégralité, assurée par le jeu des lois qui régissent le fonctionnement de ses diverses parties, et un autorégulation complexe qui fait qu'à un instant donné

l'organisme est capable de régler les composantes de son fonctionnement et de corriger les variations de ses caractéristiques, par exemple, chez le Rat, sa glycémie, sa température interne. Réciproquement, il est possible de définir l'organisme comme un ensemble de fonctions présentant un autoréglage convenable assurant la totalité de leur ensemble.

Ces fonctions peuvent se répartir en plusieurs systèmes fonctionnels dont les principaux sont des systèmes d'entretien, des systèmes de relation, des systèmes reproducteurs, des systèmes d'association. Les *systèmes d'entretien* président à l'entretien chimique de l'organisme (renouvellement des matériaux et des sources d'énergie). Les *systèmes de relation* permettent les rapports de l'organisme et du milieu. Ils peuvent être des systèmes de protection, ou de relation au sens strict (responsables du comportement de l'organisme dans son milieu). Les *systèmes reproducteurs* n'interviennent pas continuellement dans la vie de l'organisme, mais en conditionnent certains aspects. Les *systèmes d'association* maintiennent l'unité fonctionnelle de l'organisme. Ce sont eux qui sont responsables des mécanismes centraux d'autoréglage (des régulations périphériques pouvant avoir lieu indépendamment de l'autoréglage central). Ces systèmes sont essentiellement de deux types, suivant qu'ils assurent une *association chimique* (par les hormones notamment) ou une *association nerveuse*.

D'une manière générale, un organisme peut donc être décrit comme un arrangement spatial — ayant une signification fonctionnelle — de systèmes jouant chacun son rôle en coordination avec les autres, grâce aux régulations assurées plus spécialement par certains d'entre eux, de sorte que par cet autoréglage l'intégrité de l'ensemble est maintenue. Il faut à ce propos souligner qu'à ces mécanismes de régulation peuvent être appliqués des modèles cybernétiques (servo-mécanismes par exemple ; certains aspects de cette question sont envisagés par Laborit dans « Biologie et structure » N.R.F., 1968). De toute manière, ce type de description ne prend toute sa valeur que si l'on entend par systèmes fonctionnels,

non pas nécessairement les organes ou appareils de l'anatomie classique, mais plutôt les groupements cellulaires spécialisés (tissus), qui représentent de réelles unités fonctionnelles. Il faut toutefois tenir compte du fait que certains groupes cellulaires remplissent plusieurs fonctions (cas par exemple de l'adénohypophyse sécrétant plusieurs hormones), et constituent alors des systèmes plurifonctionnels. Dans ces conditions, nous constatons alors que la définition du concept de structure peut s'appliquer convenablement.

2. *Notion de niveaux structuraux*

Si le concept de structure, tel qu'il est défini par *Piaget*, convient dans le cas particulièrement schématique — de ce point de vue — d'un Mammifère par exemple, il semble qu'on puisse essayer d'en faire l'application à une population, à une cellule. Plus précisément, il est possible de distinguer des seuils d'intégration biologique : niveaux de la cellule, de l'individu pluricellulaire (organisme), de la population, de la communauté biologique (biocénose) et de la Biosphère, chacun des quatre derniers niveaux étant tels que ses mécanismes fonctionnels ont pour siège des éléments issus des niveaux inférieurs. Il est donc particulièrement intéressant de savoir si ces cinq niveaux peuvent être considérés comme des niveaux structuraux, c'est-à-dire s'il est possible de mettre en évidence pour chacun d'eux totalité, transformations et autorégulation.

Il faut ajouter que ces cinq niveaux constituent les niveaux majeurs du monde vivant ; on pourrait à des échelons intermédiaires (organite cellulaire, métamère, organe, etc.) définir une certaine « organisation », sans pouvoir parler d'une totalité assurée par un autorégulation propre, mais en considérant qu'ils constituent une échelle de sous-niveaux. Toutefois une analyse précise s'avère nécessaire. En effet, on pourrait définir un sous-niveau structural comme constitué par un certain nombre de systèmes fonctionnels spatialement regroupés à l'intérieur de la structure et réalisant

conjointement des fonctions complémentaires. Une telle définition s'appliquerait par exemple très bien au rein des Vertébrés, constitué de diverses catégories cellulaires intervenant à différentes étapes du mécanisme de l'excrétion, mais non au pancréas qui réunit des cellules à sécrétion endocrine fabricant des hormones intervenant dans la régulation de la glycémie, et des cellules à sécrétion exocrine libérant des enzymes de la digestion dans le duodénum. Ces deux exemples simples montrent bien les difficultés soulevées si l'on s'en tient à une perspective strictement anatomique. Il apparaît déjà que seul un point de vue fonctionnel peut permettre de donner une signification à une étude structurale.

3. *Structure spatiale de la cellule*

Les apports conjoints de la Cytologie moderne et de la Biochimie permettent de poser le problème en termes clairs, en le reliant immédiatement, ainsi que nous allons le voir, à celui de l'information. Pour une première approche, il est commode d'appliquer à la cellule isolée — telle une cellule bactérienne — une définition de l'individu comme celle-ci : l'individu est un ensemble matériel contenant l'information nécessaire à son organisation, matière et information ayant été mis en place par un phénomène marquant une discontinuité fondamentale (fécondation, division binaire, scissiparité...).

Toute cellule comporte en effet un centre informateur constitué par l'A.D.N. localisé dans les chromosomes, et des systèmes effecteurs réalisant les diverses fonctions permettant le maintien des équilibres cellulaires, le renouvellement des constituants, en un mot la vie de la cellule. Ces effecteurs sont constitués par les enzymes et leurs co-enzymes ou leurs groupements prosthétiques associés. Certains sont regroupés spatialement ; par exemple les systèmes assurant les mécanismes respiratoires se trouvent dans les mitochondries, ceux qui assurent les réactions de la photosynthèse dans les chloroplastes, etc. Ces organites peuvent donc être

considérés comme des sous-niveaux structuraux selon la définition donnée plus haut.

Ce qu'il faut surtout noter, c'est la grande souplesse, la grande mobilité des systèmes fonctionnels de la cellule, permettant des transferts d'information très rapides, d'où de grandes possibilités d'ajustement et de régulation que la Biologie moléculaire nous fait découvrir. Ces mécanismes de régulation assurent le fonctionnement optimal de la cellule dans les conditions de milieu où elle se trouve. Par exemple les produits terminaux des chaînes métaboliques, grâce à des mécanismes de feed-back, sont synthétisés en quantité juste nécessaire de manière à répondre strictement aux besoins de la cellule. Souvent la régulation est réalisée au niveau même du matériel génétique. C'est l'étude de ces phénomènes chez les Bactéries qui a conduit à la notion d'*opéron*. C'est une notion particulièrement intéressante car elle souligne que les différents gènes intervenant dans la réalisation d'une fonction précise sont spatialement regroupés, constituant un ensemble opérateur soumis aux « ordres » d'un gène régulateur assurant la liaison entre les systèmes effecteurs et le centre informateur. Il n'est toutefois pas évident que cela soit aussi schématique dans les cellules plus complexes dites « à noyau vrai » (Eucaryotes) ⁽¹⁾. Il semble en effet que des gènes diversement localisés dans le matériel génétique interviennent dans différentes étapes d'une même fonction métabolique, d'une façon parfaitement intégrée, sans avoir par conséquent une disposition spatiale fonctionnelle. Par ailleurs, il ne faut pas oublier qu'un même gène peut intervenir dans plusieurs processus distincts (effet pléiotrope).

De toute manière, ces faits soulignent l'importance du problème de l'organisation spatiale et fonctionnelle du matériel génétique. Ceci est encore plus évident si l'on considère le phénomène de la différenciation cellulaire. C'est le cas où, à partir d'une unique cellule-œuf, se réalisent les différents systèmes fonctionnels d'un

(1) Les Bactéries n'ont pas de noyau, mais un unique chromosome.

organisme pluri-cellulaire. Au départ, cette question semble se poser en termes de rapports spatiaux noyau-cytoplasme au niveau de l'œuf en cours de segmentation. Diverses considérations embryologiques conduisent en effet à penser que la « structure » spatiale de l'ovule est à la source des divergences entre les catégories cellulaires issues de la segmentation, les divers noyaux formés se trouvant dans des régions différentes ; ces différences pourraient conditionner diversement l'expression du matériel génétique, par des phénomènes d'induction ou d'inhibition analogues à ceux que l'on connaît chez les Bactéries, mais peut-être distincts du fait de la plus grande complexité du matériel génétique.

Quoi qu'il en soit, ces quelques considérations sur le problème de l'information dans la cellule soulignent que sa structure n'est que le reflet de la structure du centre informateur. D'ailleurs, dans le cas de la cellule-œuf, l'hétérogénéité du cytoplasme, qui intervient dans le déterminisme de la différenciation, est commandée par le fonctionnement du matériel génétique de l'ovule au cours de l'ovogenèse.

Il faut donc noter que le problème de la structure spatiale de la cellule se pose fondamentalement sous deux formes, suivant que l'on considère une cellule isolée, en équilibre, ou bien la cellule-œuf dans laquelle s'initient les phénomènes de différenciation. Ce dernier cas, où il faut envisager le passage de la cellule à l'organisme, montre déjà la nécessité d'introduire des considérations temporelles.

4. *Structure spatiale des populations*

Les populations locales d'une même espèce, qui constituent des communautés effectives de reproduction, présentent en général une physionomie se conservant au cours du temps — du moins dans certaines conditions — qui peut se décrire en termes de sex-ratio, de proportion des divers phénotypes et génotypes. Ces faits permettent de différencier les populations les unes des autres, et donc de leur accorder un certain caractère de totalité. Le maintien

de celle-ci est assuré par les mécanismes de la reproduction sexuée, comportementaux et génétiques, qui représentent des lois de transformation et assurent donc l'autorégulation de la population. Le concept de structure peut donc, semble-t-il, s'appliquer à ce niveau, mais nous voyons qu'il est difficile de s'en tenir à un point de vue spatial, puisque nous devons tenir compte des mécanismes de la reproduction, qui ont une dimension temporelle. Par ailleurs il existe de grandes différences qualitatives entre par exemple des populations d'individus équivalents et des sociétés très hiérarchisées, ainsi qu'il s'en trouve chez les Insectes sociaux, les Vertébrés, certains auteurs ayant pu parler à ce propos de « super-organismes ».

Toutes ces structures reposent bien entendu sur un certain contenu d'information, représenté essentiellement par le « pool génétique » de la population. Il faut de plus noter l'existence dans certains cas d'une transmission d'information par signes entre certains individus ainsi que des mécanismes d'apprentissage et de mémoire qui peuvent maintenir dans la population une information distincte de l'information génétique.

5. *Structure spatiale des biocénoses et de la Biosphère*

Dans un même milieu physique ou *biotope* vivent des populations de diverses espèces, dont l'ensemble est appelé *biocénose*, celle-ci et son biotope formant un *écosystème*.

Les travaux d'Écologie ont fait apparaître que les biocénoses sont structurées. En d'autres termes, la place de chaque élément n'est pas quelconque, chaque être vivant réalisant par rapport à l'ensemble une fonction particulière. Dans ces conditions il pourrait être intéressant de chercher à décrire également les biocénoses en termes de fonction. Bien entendu cela risque d'être moins facile encore que dans le cas des organismes ou des populations, car il est bien souvent difficile de définir avec précision les limites spatiales d'une biocénose, les relations avec les biocénoses voisines pouvant être nombreuses et complexes. Toutefois, dans la mesure où l'on

fait appel à des considérations fonctionnelles, bien des écueils peuvent être évités et il est intéressant de posséder un moyen de description aussi général que possible. Dans cet esprit, diverses catégories fonctionnelles peuvent être reconnues, en particulier du point de vue trophique : c'est ainsi que l'on distingue les producteurs, les divers consommateurs, les décomposeurs ; une analyse plus fine encore, mais très délicate à mener sur le plan expérimental, en tenant compte de données systématiques, physiologiques, comportementales, conduirait à des descriptions structurales précises. Un exemple en est donné par *Bourlière et Lamotte* (voir *La Terre et la Vie*, n° 4, 1962, p. 331).

Il est donc possible de considérer chaque population d'une même espèce comme un système fonctionnel ayant une place et un rôle précis dans la biocénose. La place est définie par les facteurs abiotiques du milieu et aussi par les relations avec les autres populations, donc par le rôle. L'ensemble « place-rôle » est ce que l'on appelle la *niche écologique*. On peut donc dire que la structure spatiale de la biocénose est l'arrangement des niches qui la constituent.

La Biosphère est constituée par l'ensemble des biocénoses existant à la surface du globe. Son organisation spatiale est conditionnée par la répartition des divers biotopes. Il devient donc difficile de parler ici d'une véritable structure spatiale, puisque le cadre physique est déterminant. Mais à l'intérieur de celui-ci, la Biosphère constitue un tout fonctionnel : on parle classiquement de « l'unité du monde vivant ». Cette unité est particulièrement mise en évidence par l'existence des cycles biogéochimiques : cycles du carbone, de l'oxygène, de l'azote, du phosphore, du soufre, etc. Les modalités de ces cycles peuvent être considérées comme les lois de transformation propre à la Biosphère, transformations qui en assurent l'intégrité. A ce niveau, on peut donc parler de structure, mais ici l'aspect fonctionnel prend le pas sur le point de vue spatial.

B. STRUCTURE TEMPORELLE

1. *Validité de la notion de structure temporelle*

Dans une certaine mesure, c'est par un artifice de construction du discours que nous isolons un objet biologique dans le temps pour en étudier l'anatomie, donc la structure spatiale. Nous avons vu en effet qu'à chaque fois ce point de vue est insuffisant, car les relations existant entre les divers systèmes constituant un objet biologique sont essentiellement fonctionnelles, et par conséquent intègrent la dimension temps. Pour pouvoir véritablement parler de structures biologiques, il faut donc savoir s'il est possible d'envisager leur totalité, leur autoréglage assuré par certaines lois, selon le temps.

Dire que la totalité de la structure est assurée par un autoréglage, c'est, d'un point de vue temporel, affirmer sa conservation, sa constance. Or, si nous considérons un organisme pluricellulaire, au cours de son histoire, il se produit un certain nombre de changements, en particulier pendant le développement. Celui-ci représente une *succession d'états structuraux transitoires*, différents par le nombre et la nature de leurs systèmes fonctionnels. Dans certains cas, ceci est d'autant plus marqué que, au cours de son histoire, l'organisme change parfois de niche, sinon de biocénose (cas des animaux changeant de régime au cours de leur développement, cas des animaux aériens à larves aquatiques).

Cependant, si nous nous plaçons au niveau de la population, supposée en équilibre avec son environnement, nous constatons que son *histoire* se reproduit de façon *cyclique*. L'ordre des phénomènes constitue un tout qui est conservé. C'est donc à ce niveau que le problème de l'utilisation du concept de structure se pose réellement, prenant toute son acuité à propos de la notion d'espèce.

2. *Structure et espèce*

A condition de ne pas se situer sur une trop grande échelle, l'espèce apparaît comme une réalité biologique qui se conserve au

travers de sa reproduction cyclique. Cette conservation est assurée par des mécanismes complexes : isolement génétique, adaptation fonctionnelle au milieu de vie, etc. En d'autres termes l'espèce montre la conservation au cours du temps de ses caractéristiques fonctionnelles, donc leur stabilité ; en cela, elle répond à la définition de la notion de structure. Or il faut noter ici encore que l'information est sous-jacente à la structure, puisque c'est le matériel génétique qui, par le jeu d'inductions, de répressions et de dérèpressions convenables, détermine, outre les états structuraux des différents stades, la structure temporelle qui préside à l'ordre dans lequel ils se succèdent. Par-là même, le matériel génétique est responsable de la constance de l'espèce, et la définition de celle-ci par une succession d'états structuraux telle que nous l'avons adoptée ci-dessus pose le problème d'une application du concept de structure au matériel porteur d'information lui-même.

C. VARIATION DES STRUCTURES

1. *Modulations à l'intérieur d'un même niveau structural*

La Systématique nous apprend à reconnaître une grande variété de formes à l'intérieur d'un même niveau structural. Leur étude comparée conduit à la mise en évidence de schémas structuraux, tels que celui des Vertébrés, celui des Mollusques, etc. Les schémas structuraux diffèrent par le plus ou moins grand nombre des systèmes fonctionnels qu'ils comportent, par leur arrangement spatial, ainsi que par leur spécialisation, en particulier celle des systèmes d'association. Ainsi, à l'intérieur du niveau « organisme », nous trouvons par exemple les Cnidaires, qui ne possèdent que deux feuilletts cellulaires (animaux diploblastiques), avec un nombre restreint de catégories de cellules, dont certaines remplissent plusieurs fonctions à la fois, alors que dans un groupe comme celui des Vertébrés, la différenciation cellulaire est extrêmement poussée, la coordination de l'ensemble étant finement ajustée par

le jeu de systèmes d'association complexes, en particulier chez les Homéothermes.

Autour d'un même schéma structural, on observe des variations dont la plus ou moins grande amplitude permet l'élaboration de systèmes de classification hiérarchisés. Enfin dans une population locale d'une même espèce, les individus varient plus ou moins pour tels de leurs caractères. A l'intérieur d'une population donnée, ces variations sont généralement continues, en ce sens que tous les intermédiaires existent entre les extrêmes et la moyenne, la variation pouvant alors s'inscrire dans une courbe normale, dont les paramètres sont caractéristiques de la population, alors qu'ils peuvent varier entre deux populations distinctes appartenant à la même espèce.

Entre populations d'espèces distinctes, il peut exister de grandes différences qualitatives, que nous avons déjà évoquées, traduisant un plus ou moins grand degré d'intégration. De même, il existe de nombreux types de biocénoses, les unes étant composées de peu d'espèces, et présentant un réseau trophique simple, donc un petit nombre de niches bien distinctes, les autres, extrêmement complexes, ayant une riche composition spécifique, donc une grande variété de niches.

On a pu constater dans des milieux « vides » l'installation progressive de biocénoses, d'abord très simples (*biocénoses pionnières*) puis plus complexes, atteignant finalement une structure d'équilibre, c'est-à-dire se maintenant identique à elle-même tant que le milieu reste stable (*biocénoses climax*). Ce fait pose le problème d'une relation éventuelle entre le degré de complexité des structures et le temps.

2. Variation temporelle des structures

a) Le problème du développement

Lorsqu'un organisme se développe à partir d'une cellule initiale, il passe, comme nous l'avons dit, par un certain nombre d'états structuraux successifs. Peut-on toutefois dire qu'il passe d'un niveau structural à un autre ? Nous ne le pensons pas, dans

si l'on se place d'un point de vue embryologique. En effet, si on considère la gemmule née d'un processus de multiplication végétative et capable de redonner un individu entier, ou mieux encore l'œuf issu d'une fécondation, l'un comme l'autre contiennent dès le départ l'information nécessaire à la réalisation de l'individu entier. Bien entendu l'un et l'autre puisent dans le milieu extérieur les matériaux nécessaires à cette réalisation, mais ces matériaux sont progressivement employés selon un plan préexistant. Au niveau des éléments reproducteurs, l'information nécessaire à la construction de l'organisme se trouve donc simplement dans un *état d'expression minimale*, dont il faut définir la nature, puis est progressivement exprimée, traduite, au cours du développement.

Il est donc fondamental de définir en premier lieu sous quelles formes est *stockée* l'information, puis de préciser par quels mécanismes elle est *conservée* au cours du temps, d'une génération à l'autre. Il faudra enfin définir les processus qui permettent à l'information de *varier*, c'est-à-dire les mécanismes de base de l'Évolution.

1. *Le stockage de l'information*

A l'heure actuelle la seule forme de stockage bien connue est la molécule codée d'A.D.N., qui est le constituant fondamental des chromosomes. L'A.D.N. contient l'information nécessaire à la synthèse des molécules protéiques, qui sont les agents des réactions biologiques. L'A.D.N. n'est cependant pas le seul constituant vital codé: l'A.R.N. et les protéines le sont aussi. Toutefois l'A.D.N. semble être la seule substance douée de continuité génétique (mais c'est l'A.R.N. dans le cas des Virus des Végétaux, comme la Mosaïque du Tabac), aussi lui accorde-t-on le rôle fondamental dans le stockage de l'information. On s'est même jusqu'ici presque uniquement intéressé à l'A.D.N. des chromosomes; il faut pourtant noter qu'il en existe aussi dans certains organites cellulaires (chloroplastes et mitochondries); il reste alors à savoir quel peut être son rôle dans ces cas.

Nous avons d'autre part souligné le rôle déterminant que semble jouer l'organisation spatiale du cytoplasme de l'œuf dans

la différenciation cellulaire au cours du développement : c'est un rôle informateur ; sa mise en place dépend de l'information contenue sous forme d'A.D.N. dans le noyau de l'ovule ; on ne peut toutefois négliger l'existence éventuelle d'effets maternels extranucléaires, qui pourraient conditionner cette mise en place, et par suite influencer sur la physionomie de la descendance. Bien entendu de tels effets pouvant n'être qu'occasionnels, le problème du stockage de l'information est avant tout lié à la nature des matériaux susceptibles d'en assurer la reproduction conforme, c'est-à-dire la conservation au cours du temps.

2. *La conservation de l'information*

Au niveau de l'individu, le problème de la conservation de l'information, c'est celui des mécanismes qui assurent la transmission conforme ; ce sont les processus fondamentaux de la mitose, de la méiose et de la fécondation dans le cas de la reproduction sexuée des Eucaryotes ; à l'échelle fine de la Biochimie, c'est notamment le problème de la duplication de l'A.D.N. Les mécanismes qui réalisent cette duplication sont particulièrement ardues à étudier. Si l'on a quelques idées sur les modalités générales du phénomène, qui est dit semi-conservatif, on connaît encore peu de choses sur la façon précise dont se dédouble la molécule et se forment les nouvelles chaînes.

On connaît bien, au contraire, les mécanismes qui permettent la conservation du stock chromosomique au cours des divisions cellulaires. La mitose assure l'identité entre les deux stocks chromosomiques formés et leur identité au stock initial. Les deux cellules-sœurs issues de la division d'une même cellule possèdent donc strictement la même information nucléaire. On peut se demander s'il en est de même en ce qui concerne une éventuelle information cytoplasmique, liée par exemple à l'A.D.N. mitochondrial. Cela pose le problème de la continuité génétique des constituants cellulaires autres que les chromosomes.

Par ailleurs, si l'identité entre cellules est conservée au cours de divisions clonales, il n'en est pas de même au cours du développement depuis la segmentation jusqu'à la mise en place des tissus les plus différenciés. Si, grâce au processus mitotique, les cellules issues d'un même œuf possèdent la même information potentielle, contenue dans l'ensemble du matériel génétique, elles ne possèdent pas toutes la même information « exprimée ». C'est le problème déjà soulevé de la différenciation cellulaire, qui semble liée au départ à l'organisation du cytoplasme ovulaire, mais qui par la suite est aussi très probablement le résultat d'interactions complexes entre cellules, mettant sans doute en jeu des substances capables de réprimer ou au contraire d'induire telle ou telle partie de l'information nucléaire. De ce point de vue, il faut souligner le rôle possible des histones.

Pourtant, si, d'une génération à l'autre, des individus réalisés chacun par de tels mécanismes restent identiques entre eux, il s'agit de savoir quelle est l'information conservée. Il apparaît que l'information elle-même doit être structurée, hiérarchisée, ce que n'explique pas nécessairement le simple arrangement linéaire des « lettres » du code génétique le long de la molécule d'A.D.N. : la structure fonctionnelle de l'objet biologique, le déroulement de sa mise en place doivent être programmés.

Nous avons dit plus haut que pour que l'individu soit, il faut que soient réunies et isolées la matière et l'information nécessaire. Il semble difficile de dire que toute l'information est contenue dans le noyau seul. Dans le cas où la reproduction est sexuée, c'est l'œuf tout entier qui représente l'information, celle-ci étant d'une part sous forme d'A.D.N., d'autre part sous forme d'une « organisation » cytoplasmique (gradients, etc.) encore mal connue. Comme nous l'avons dit, l'œuf représente un état d'expression minimale de cette information. C'est cet état tout entier dont on doit considérer la conservation. Celle-ci est assurée par l'ensemble des mécanismes reproducteurs, et non pas seulement, comme on a facilement tendance à le croire, ou en tout cas à le dire, par le couple des phénomènes méiose-fusion des pronucléus.

Ces quelques remarques sur les problèmes de la conservation de l'information au niveau de l'individu nous font pressentir la nécessité d'un cadre plus large pour en mieux comprendre l'importance.

Au niveau d'une population locale, qui constitue une communauté effective de reproduction, se pose le problème de l'information totale qu'elle contient. En effet les différents individus réels sont dispersés autour d'un individu moyen idéal, cette dispersion n'étant pas quelconque mais caractéristique de la population considérée ; en d'autres termes, celle-ci présente une physionomie déterminée, qui est l'expression de l'information totale, mais expression conditionnée par le milieu. Si nous posons que celui-ci ne change pas, que la population est en équilibre, on peut alors chercher à connaître les mécanismes qui permettent cet équilibre, c'est-à-dire finalement la conservation de l'information totale. Ce sont dans l'ensemble les processus de la reproduction, soit clonale, soit sexuée, qui en sont responsables.

La structure des biocénoses elle-même est susceptible de conservation. La nature des rapports trophiques entre les différentes populations d'une même biocénose, leurs aspects quantitatifs se conservent si la biocénose est en équilibre. De ce point de vue les aspects comportementaux de la structure des biocénoses sont particulièrement importants à considérer. La stabilité des comportements de recherche et de prise de la nourriture, de reproduction est une condition essentielle de la conservation des structures des biocénoses. Or, l'infrastructure génétique des comportements est très mal connue. De plus des mécanismes de stockage de l'information autres que le codage génétique sont possibles, liés aux phénomènes de conditionnement et de mémoire. Toutefois on n'entrevoit pas encore les mécanismes éventuels d'une transmission des informations ainsi stockées d'une génération à l'autre, sauf dans le cas où une transmission par signes existe.

3. *La variation de l'information*

Si nous considérons les mécanismes qui assurent la conservation de l'information, nous savons qu'il existe des possibilités d'erreur, les mutations ; celles-ci se produisent au niveau de l'A.D.N. portant sur la séquence des nucléotides par exemple, ou même au niveau des chromosomes (délétions, translocations, inversions). Ces erreurs peuvent effectivement être des « erreurs », ayant des conséquences plus ou moins marquées, pouvant aller jusqu'à la léthalité ; elles sont alors éliminées de la population où elles se sont produites (ce qui constitue un processus de régulation). Mais les mutations peuvent aussi se révéler avantageuses et être conservées : il s'introduit ainsi dans l'information une variation qui est maintenue, ce qui crée du même coup une hétérogénéité dans la population. Cette hétérogénéité une fois introduite, dans une population à reproduction sexuée, celle-ci en assure la conservation, et peut même l'accentuer dans le cas d'individus diploïdes, du fait de l'association aléatoire des stocks chromosomiques parentaux dans l'œuf. Certains mécanismes comportementaux intervenant dans le choix des partenaires peuvent éventuellement tendre à entretenir cette hétérogénéité.

D'une manière plus générale, le problème de la variation de l'information acquiert toute sa signification dans le cadre de la spéciation ; on entend par ce terme l'ensemble des mécanismes aboutissant à l'isolement de communautés de reproduction. La spéciation intègre les processus de variation tels que ceux que nous venons d'évoquer ; par là, elle est, à l'échelle de la Biosphère, le mécanisme différenciateur fondamental qui est à la source de la complexification du monde vivant.

Si nous considérons une population locale en cours de spéciation, nous constatons qu'à tout instant les individus qui la composent sont insérés dans une biocénose donnée, insertion faite de liens complexes, trophiques, comportementaux, etc. Si donc cette population est le lieu d'une spéciation — c'est-à-dire d'un

isolement progressif vis-à-vis d'autres populations dont elle était auparavant partie intégrante — c'est, ou bien qu'elle change de biocénose, ou bien que la biocénose dont elle fait partie change avec elle. A la limite toute spéciation s'inscrit dans un processus général de *déséquilibre orienté*, l'orientation étant provoquée par la *sélection* qui favorise les objets biologiques dont les processus d'autoconservation sont les plus efficaces. En d'autres termes, le fait biologique fondamental réside en ceci que *au cours de son histoire, le monde vivant est le siège d'une structuration croissante, qui a pour support l'information elle-même*. Ce terme « structuration » doit bien entendu être pris dans son sens de processus dynamique.

CONCLUSION

Nous avons cherché à montrer les problèmes que soulève la notion de structure en Biologie, en partant de la définition qu'en donne *Piaget*, à savoir qu'une structure se reconnaît à sa totalité, ses transformations et son autorégulation. Si nous essayons d'abord de définir des structures spatiales, cette notion semble en première approximation enrichissante dans la mesure où elle permet de distinguer différents niveaux structuraux, et constitue donc un outil de description permettant une meilleure cohérence. Mais des difficultés surgissent rapidement, car un point de vue strictement spatial est artificiel, du fait qu'il est nécessaire d'introduire des considérations fonctionnelles, liées à la dimension temps, pour pouvoir en fait décrire convenablement les objets biologiques. Il faut alors envisager non plus d'une part une structure spatiale, de l'autre une structure temporelle, mais intégrer ces deux aspects en développant la notion de structure fonctionnelle, qui est essentiellement dynamique. Un objet biologique peut alors être défini comme un ensemble de systèmes fonctionnels qui agissent de façon coordonnée de telle sorte qu'est maintenue l'intégrité de l'ensemble, tant dans ses caractéristiques spatiales que temporelles. En ce sens l'objet biologique peut effectivement être considéré

comme une structure. Nous avons souligné que cette structure de l'objet biologique n'est que la manifestation de la structure de l'information qui le sous-tend.

Mais les termes de la définition de *Piaget* — totalité, auto-réglage — suggèrent que la structure se conserve, est stable, ne change pas. Si ceci est approximativement vrai si on s'en tient à de courtes périodes d'observation, il n'en reste pas moins, qu'à grande échelle, l'aspect fondamental du phénomène vivant est l'Évolution, c'est-à-dire le changement. Peut-on alors dire que ce trait essentiel tient en la structuration progressive de la Biosphère, c'est-à-dire le perfectionnement continu des divers mécanismes fonctionnels, de telle sorte qu'ils assurent un autoréglage toujours plus efficace, donc une meilleure autoconservation, non pas tant d'une « structure » donnée à un moment donné, que du phénomène vivant tout entier ? C'est un peu ce que tente *Piaget*, pour tenir compte de cet aspect dynamique, en disant que toute structure est en même temps structurante. Allant un peu plus loin, nous pourrions alors dire que la propriété fondamentale du phénomène vivant est la création de structures toujours plus intégrées, triées par la sélection naturelle, qui guide ainsi une *structuration croissante de l'information biologique*. Cette structuration croissante se présente comme une succession d'états structuraux toujours transitoires ; cette notion dynamique nous semble plus ajustée à la nature du fait biologique que la notion de structure, liée à une observation de trop courte durée pour pouvoir présenter une réelle signification à l'échelle du phénomène vivant tout entier.

BIBLIOGRAPHIE

- PIAGET, J., Le Structuralisme, collection, « Que sais-je ? » P.U.F., 1968.
LABORIT, J., Biologie et Structure, collection, « Idées » N.R.F. Gallimard, 1968.
BOURLIÈRE, F. et LAMOTTE, M., Les concepts fondamentaux de la synécologie quantitative, *La Terre et la Vie*, N° 4, 1962, p. 329 à 350.