

Evolution des espèces et développement de l'individu. Une nouvelle approche : l'ontophylogénèse.

Quelques repères autour de la conférence de Jean-Jacques KUPIEC. Du déterminisme génétique à l'émergence de la théorie de l'ontophylogénèse

1. Un peu d'histoire

Les racines du déterminisme

Un paradoxe : l'incertitude en physique débouche sur le déterminisme en biologie !

La fin du déterminisme en biologie moléculaire

(András Páldi et Sophie Coisne, La recherche n°434, octobre 2009, p40-42)

...Il faut revenir sur les racines déterministes de la biologie actuelle. Descartes en a posé les fondements au XVIII^e siècle. Pour lui l'organisme vivant est une machine dont chacune des étapes de fonctionnement est déterminée par une cause précise. Ainsi, si l'on parvient à connaître parfaitement les pièces dont l'organisme est constitué, il devient possible de comprendre et de prédire son comportement. Cette conception impose une méthodologie particulière pour clarifier la façon dont un organisme, un organe ou une cellule fonctionne, il faut identifier et décrire en détail chacun de ses constituants. Le développement de la biologie va dès lors être fondé sur cette méthodologie, à l'image de la physique, qui, au XVIII^e siècle, s'est déjà engagée dans cette voie.

Fonction de probabilité. Mais au début de XX^e siècle, les deux disciplines divergent. La physique quantique remet en question la conception déterministe dominante : elle introduit la notion de probabilité dans l'explication des phénomènes. Un exemple : selon le principe d'incertitude énoncé par Werner Heisenberg en 1927, on ne peut connaître le mouvement d'une particule qu'à l'aide d'une fonction de probabilité. A peu près à la même époque la génétique, en revanche, renforce sa vision déterministe du vivant. Paradoxe, elle doit ce durcissement à un physicien, fondateur de cette physique probabiliste : Erwin Schrödinger.

Ce dernier, en effet, propose de regarder l'hérédité en physicien. Dans les années 1940, les lois de Mendel qui régissent la transmission des caractères sont posées, et l'existence des chromosomes connue. Les généticiens commencent à comprendre comment les chromosomes déterminent l'ordre apparent qui caractérise le vivant. Or, que dit la physique sur « l'ordre » ? Qu'il n'est en quelque sorte qu'apparent. Par exemple, le comportement macroscopique d'un gaz est fondé sur le comportement microscopique statistique – et aléatoire- d'un très grand nombre de molécules. C'est ce que Schrödinger appelle « l'ordre à partir du désordre ». « *Celui qui n'est pas physicien, reconnaît-il trouve difficile que les lois ordinaires de la physique, qu'il considère comme le prototype de la précision inviolable, soient vraiment basées sur la tendance statistique de la matière vers le désordre.* »

Comportement ordonné. Ce principe peut-il être appliqué au vivant ? Schrödinger demande l'avis de généticiens. Selon eux, l'ordre, autrement dit les caractères d'une cellule, le fait qu'elle soit neurone ou globule blanc, qu'elle produise telle ou telle hormone, est déterminé et transmis par les chromosomes. Mais tandis que le comportement macroscopique, ordonné, d'un gaz est régi par le comportement microscopique d'une quantité considérable de molécules, le nombre de chromosomes -que l'on estime à 48 à l'époque- est trop petit pour que le comportement des cellules soit déterminé par un fonctionnement probabiliste de ces derniers. Selon Schrödinger, il est donc impossible que l'ordre vienne du désordre : le vivant obéit à des lois différentes de celles du monde physique, des lois fondées sur le principe de « l'ordre basé sur l'ordre ». *La vie, appuie le physicien, paraît être un comportement ordonné et réglementé de la matière, comportement qui n'est pas fondé exclusivement sur la tendance à passer de l'ordre au désordre, mais fondé en partie sur un ordre existant qui se maintient.*

Le support de cet ordre c'est le gène. Schrödinger le définit comme « une association bien ordonnée d'atomes, douée d'une résistivité suffisante pour maintenir cet ordre indéfiniment... » En 1946, sur la base de cette description, il conclut dans son livre *Qu'est-ce que la vie* : « (...) Avec l'image moléculaire du gène, il n'est pas inconcevable que le code en miniature puisse se trouver en correspondance exacte avec le plan de développement très complexe et très élaboré et contenir en même temps les moyens de la mettre en exécution. » La découverte, dix ans plus tard, de la structure de l'ADN semble lui donner raison.

L'interprétation de Schrödinger a une énorme influence sur la majorité des généticiens. Il reconforte ceux qui pensent que l'ordre au niveau de l'organisme est fondé sur le fonctionnement ordonné de ses composants : les cellules ou les molécules.(...)



• Le code génétique

"Le code ADN, entièrement propre à l'individu et pourtant spécifique à l'espèce de chaque zygote (la cellule œuf fertilisée), qui contrôle le développement du système nerveux central et périphérique, des organes des sens, des hormones, de la physiologie et de la morphologie de l'organisme, est le programme de l'ordinateur comportemental de l'individu."

http://fr.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mayr_-_cite_ref-1 Ernst Mayr, "Cause and effect in biology", Science 134, 1961, pp. 1501-1506

Vers la fin du déterminisme

Pour une biologie moléculaire darwinienne, Pierre Sonigo. La Recherche n° 296 - mars 1997, p126

Aux échelles moléculaires et cellulaires, on ne peut appliquer tel quel le concept original de la sélection naturelle. Dans le cas des protéines, par exemple, il n'y a pas d'élimination pure et simple des molécules « inadaptées ». Dans un ensemble qui varie en permanence, la propriété favorable peut résulter de la simple présence des bonnes variations chez certaines molécules à un instant donné ; on peut aussi imaginer des phénomènes de stabilisation, par interaction avec le substrat de l'activité enzymatique par exemple. Dans le cas des cellules, les variations aléatoires pourraient se stabiliser lors de l'obtention de types cellulaires capables de coopérer pour favoriser la croissance de l'ensemble. Si l'on applique ainsi les concepts darwiniens à de nombreux processus biologiques, un individu unique n'est plus l'image d'un « code » unique qui serait porté par son génome. Il est le produit de la sélection-stabilisation, à l'intérieur de l'organisme, d'une des combinaisons les plus viables parmi les multiples combinaisons réalisables au hasard avec ce génome. Il devient alors évident que l'étude isolée du génome ne peut aboutir à comprendre la construction d'un individu. Enfin, si le génome porte un très grand nombre de « codes » possibles, et qu'il n'est pas responsable de la décision finale quant au « code » qui sera finalement utilisé, peut-on encore affirmer en toute rigueur que les gènes portent le « code » de l'organisme ? Cette question relance en fait le vieux débat de la relation entre le génotype et le phénotype.

De plus, réduire le hasard de Darwin aux variations du génome, considérer qu'un génome ne code qu'un individu potentiel, comme le proposent les néo darwiniens et les biologistes moléculaires, pose des problèmes à la théorie de l'évolution elle-même. Mais, si l'on accepte l'idée qu'un seul génome contient un très grand nombre de réalisations potentielles, les objections fondées sur des raisonnements mathématiques tombent ; il n'est plus nécessaire d'invoquer un mystérieux principe vital ou de s'en remettre à un miracle, autrement dit à la réalisation d'un événement à très faible probabilité, pour expliquer l'obtention d'un génome viable parmi le très grand nombre de génomes possibles. Le langage des gènes est extrêmement dégénéré. Il est flou, illisible. Mais c'est ce flou qui procure à la vie sa fantastique capacité d'innovation.

Ainsi formulée, la théorie darwinienne s'oppose à la démarche réductionniste qui postule que « le tout est la somme de ses parties » et suppose une hiérarchie de niveaux d'organisation dont les molécules forment la base. Pour éclairer cette discussion, établissons un parallèle avec la question classique ; « Est-ce l'œuf qui fait la poule ou la poule qui fait l'œuf ? » Installons les molécules dans le rôle de l'œuf et la cellule dans celui de la poule. Le biologiste moléculaire répond que la molécule est le point de départ. Il s'attache donc à une description moléculaire complète, dont il espère déduire le fonctionnement du tout. Malheureusement, la description moléculaire est souvent bien plus incompréhensible que l'organisme qu'elle prétend élucider. Il suffit de lire les grandes revues de biologie moléculaire pour s'en convaincre. Une position plus extrême encore est tenue par Richard Dawkins : Pour lui, les poules (cellules et organismes) ne servent qu'à assurer la survie des œufs (gènes) !

Récemment, plusieurs auteurs, s'appuyant notamment sur les principes darwiniens, ont signalé que le tout n'est pas tranquillement en train d'attendre que les parties s'assemblent ; ce sont les nécessités de la vie qui façonnent les molécules, via la sélection naturelle. Cette conception plus globale des systèmes biologiques n'échappe pas totalement au réductionnisme et aux niveaux d'organisation. Elle aggrave parfois le mystère de la vie en invoquant des propriétés dites émergentes : « Le tout est plus que la somme de ses parties ».

Et si c'était l'apparente existence de niveaux hiérarchiques d'organisation qui était trompeuse ? La poule-cellule actuelle n'est pas plus issue de l'œuf-molécule que l'inverse. L'un ne fait pas l'autre, car ils ne font qu'un. Certes, il est préférable de scinder un problème difficile en sous-problèmes plus abordables et il ne s'agit pas d'aborder la biologie dans sa globalité, ce qui rendrait toute étude impossible. Alors que faire, si l'on veut aller du plus simple au plus compliqué, si l'on veut comprendre comment la vie s'assemble ?

« Décrire un système vivant, c'est se référer aussi bien à la logique de son organisation qu'à celle de son évolution » a écrit François Jacob. Surtout à celle de son évolution, sommes-nous tentés d'ajouter.

La fin du « tout génétique » ?

Vers de nouveaux paradigmes en biologie, Henri Atlan INRA éd., 1999, p.82-83

Question : le programme d'un organisme multicellulaire est tout de même bien différent de celui d'un organisme unicellulaire, se serait-ce qu'en raison de toutes les interactions entre cellules qui entrent en jeu...

Henri Atlan : Oui, mais ces interactions ne sont que la conséquence purement mécanique de la création de gradients de produits sécrétés par les cellules elles-mêmes. Il existe un certain nombre de modèles expérimentaux relativement simples, comme ces amibes qui vivent à l'état unicellulaire dans certaines conditions, et qui s'organisent en êtres multicellulaires, les

slime molds, dans d'autres conditions. On sait qu'elles se mettent ensemble pour fabriquer, entre autres, l'AMP cyclique, qui se répartit alors selon un gradient de concentration qui va être à l'origine de la différenciation des amibes au sein de ce nouvel organisme. Je crois donc que l'on peut conserver l'idée selon laquelle le programme se trouve partout.

Question : les communications intercellulaires, qui coordonnent l'activité des cellules au sein d'un tissu, d'un organisme, font-elles parties ou non, pour vous, des phénomènes épigénétiques ?

Henri Atlan : Lorsque l'on étudie de près les communications intercellulaires, on retrouve des macromolécules ou des structures de membranes qui servent d'intermédiaires. La structure de ces macromolécules est évidemment codée par des gènes, puisque ce sont, au moins en partie, des protéines. Mais leur état d'activité va dépendre du type de cellule et du contexte chimique dans lesquels elles se situent, de leurs contacts avec la membrane d'origine et avec la membrane de l'autre cellule, etc. Divers aspects de ces phénomènes biochimiques ne sont pas en corrélation directe avec la séquence des acides aminés de ces protéines, mais ce codage, encore une fois, ne détermine pas tout. L'exemple de l'immunologie est caractéristique : les anticorps sont bien sûr tous codés par des gènes, mais leur activité ne dépend pas seulement de l'existence de ces gènes.

2. L'ontophylogénèse

Réunifier l'ontogénèse et la phylogénèse

Extrait de l'entretien entre Jean-Paul Baquiast et J-J Kupiec et, 8 mai 2009

www.automatesintelligents.com/interviews/2009/kupiec.html

JPB : Je pense que vous devriez ici, pour ceux qui liront cet entretien, expliquer pourquoi vous avez proposé d'unifier l'ontogénèse et la phylogénèse. C'est véritablement le point le plus fondamental de votre théorie (je souligne), le plus révolutionnaire, le plus susceptible de répercussions multiples. Il faut absolument que les lecteurs le comprennent ...

JJK : Oui. Rappelons que l'on désigne par ontogénèse la genèse de l'individu, la phylogénèse désignant celle de l'espèce. Depuis toujours, on a considéré qu'il s'agissait de deux processus différents, pour lesquels il fallait développer deux théories différentes. Dans la période actuelle on a, d'un côté, pour la phylogénèse, une théorie de l'évolution qui est la théorie néodarwinienne faisant appel à la sélection des variants apparus lors de certaines mutations et de l'autre côté, concernant l'ontogénèse, l'embryogénèse des animaux adultes qui est sous contrôle, autrement dit qui résulte, de l'expression du programme génétique inclus dans l'ADN.

Or le problème fondamental est qu'en fait les espèces n'évoluent pas. L'espèce chien n'a pas évolué en renard. Non plus que l'espèce cheval en âne. Tout simplement parce que l'espèce est une entité abstraite. Ce ne sont pas les espèces qui évoluent, mais des individus. Il faut donc nécessairement qu'il y ait un point de contact entre les deux théories.

J'insiste là-dessus, car la question n'est pas évidente. Elle est pourtant essentielle, car elle a des implications philosophiques. Cette question traverse à mon avis toute l'œuvre de Darwin. Celui-ci a déconstruit le réalisme de l'espèce (le fait que l'on considère l'espèce comme une réalité en soi) pour en arriver à une conception généalogique qui se traduit par l'idée d'un continuum d'individus. Comme on avait jusqu'ici considéré qu'il y avait deux processus différents, on a développé pour les expliquer deux théories différentes. C'est de là que proviennent toutes les contradictions théoriques et expérimentales (car la théorie influence les expériences que l'on bâtit à partir d'elles) ayant jusqu'à présent affecté la biologie.

J'ai créé le concept d'ontophylogénèse pour dire qu'il n'y a qu'un seul processus et que l'on ne doit avoir qu'une seule théorie pour le décrire. La théorie néodarwinienne actuelle a opéré une régression théorique par rapport à Darwin puisque celui-ci n'avait de l'espèce, comme nous venons de le dire, qu'une conception généalogique. Dans le cadre de la biologie moléculaire, on en est revenu à un réalisme de l'espèce : celle-ci correspond à une structure identifiable correspondant elle-même à une information génétique.

JPB : Ce que vous avez montré, sauf erreur de formulation de notre part, c'est qu'un seul et même processus, celui de la sélection des variants apparus au hasard, peut jouer aussi bien dans la formation de l'individu adulte au moment de l'embryogénèse (le darwinisme cellulaire) que dans la sélection des individus adultes capables de survivre aux contraintes de l'environnement et susceptibles d'être regroupés ensuite par un observateur extérieur en catégories homogènes que l'on baptisera espèces par commodité, s'ils présentent des caractères globalement semblables..

JJK : Oui. On peut noter d'ailleurs que l'idée darwinienne selon laquelle il n'existe que des reproductions d'individus avait été clairement exprimée par Claude Bernard dans un texte dont je donne la citation intégrale.

JPB : Vous avez bien fait de rendre hommage à Claude Bernard, trop souvent oublié aujourd'hui. Mais comment expliquez-vous que des gens supposés intelligents, et qui ne soient pas guidés par une idéologie spiritualiste, aient pu supporter si longtemps la contradiction induite par le néo-darwinisme ?

JJK : C'est qu'en biologie, les implications idéologiques sont si fortes qu'il a fallu un considérable travail scientifique pour se dégager des a priori psychologiques, philosophiques, métaphysiques qui gênent le développement des idées. En biologie, ces a priori sont encore plus prégnants qu'en physique. On y parle constamment non seulement des espèces, mais aussi de l'espèce humaine. Or renoncer au réalisme de l'espèce, renoncer à l'idée que l'espèce est une entité réelle, c'est aussi renoncer à l'idée que l'espèce humaine serait une entité réelle. En tant qu'être humain, nous avons probablement là un problème par rapport à notre propre identité. Les concepts d'information et de programme génétique ont donc réintroduit le réalisme des espèces, en partie sans doute de manière inconsciente pour résoudre ce problème d'identité. On affirme ainsi qu'il existe une structure réelle correspondant à une information et un programme génétiques qui définissent l'Homme. De là découlent toutes les régressions.

JPB : Le concept de stéréospécificité, que vous avez largement démolé, visait à démontrer qu'il y avait un ordre moléculaire, correspondant à l'ordre de l'espèce.

JJK : Les biologistes moléculaires ont projeté le concept d'espèce ou de spécificité sur le monde moléculaire. La stéréospécificité des molécules repose en effet sur l'idée que les molécules sont spécifiques, qu'il y a des classes de

molécules lesquelles réagissent les unes avec les autres d'une façon définie, et qu'il existe finalement un ordre moléculaire. On évacue totalement le hasard (au sens que nous avons défini tout à l'heure) du monde moléculaire de la biologie. On veut montrer qu'au niveau moléculaire, il règne un ordre parfait des molécules, une sorte de défilé militaire du 14 juillet, les bataillons de molécules entrant en scène les uns après les autres. Or on s'est aperçu que cela était faux. Cet ordre moléculaire est le reflet de l'ordre correspondant à l'information génétique contenue dans les gènes. C'est d'ailleurs inscrit dans l'étymologie du mot qui vient de *genos* en grec c'est à dire le genre ou espèce. (...)

3. Quelques éléments de bibliographie

Ouvrages

- Le Hasard au coeur de la cellule : probabilités, déterminisme, génétique
Jean-Jacques Kupiec, Olivier Gandrillon, Michel Morange, Marc Silberstein (Eds) Editions Syllepse, 2009, 196 pages (Epuisé). **Réédité** aux Editions Matériologiques, 2011, 289pages
- L'origine des individus
Jean-Jacques Kupiec, Fayard, 2008, 316 pages
- Génétiquement indéterminé. Le vivant auto-organisé.
Sylvie Poureau, coord. Editions Quae, coll. Update Sciences Technologies, 2007, 169 pages
- Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience
Gilbert Chauvet, Editions Vuibert, 2006
- Ni Dieu, ni gène pour une autre théorie de l'hérédité
Jean-Jacques Kupiec, Pierre Sonigo, Seuil, 2000, 229 pages
- Histoire de la notion de gène
André Pichot, Flammarion, 1999
- La fin du « tout génétique » ? Vers de nouveaux paradigmes en biologie
Henri Atlan, Inra éditions, 1999, 91 pages
- Le hasard et la nécessité
Jacques Monod, Seuil, 1970

Revues

- La Recherche n°434, octobre 2009
Dossier : Le hasard au cœur de la vie
Les gènes jouent-ils aux dés ? pp38-53
- Pour la science avril-juin 2009
Dossier « L'évolution »
Jean-Jacques Kupiec, le darwinisme cellulaire

Sites

www.automatesintelligents.com/interviews/2009/kupiec.html
<http://www.agoravox.fr/actualites/technologies/article/le-chercheur-jean-jacques-kupiec-48970>
<http://www.diffusion.ens.fr/index.php?res=personnes&idpers=1114>
<http://www.cavaillles.ens.fr/>
<http://www.franceculture.com/emission-les-matins-quest-ce-que-l-auto-organisation-2011-01-25.html>

Information : Ce document est proposé par le groupe *Sciences en questions* comme éclairage autour du sujet original qui sera développé par l'auteur, **lors de la conférence qu'il donnera et l'ouvrage qui en sera issu.**
Coordonné par: Michelle Cussenot.