

Éditorial

La Revue des Questions Scientifiques consacre ce numéro spécial à la personne et à l'œuvre du professeur Christian de Duve. Les travaux de recherche de C. de Duve, professeur émérite de l'université catholique de Louvain (Belgique) et de l'université Rockefeller (New York) furent consacrés à la cellule vivante dont il aborda l'étude par une approche biochimique. Ils le conduisirent notamment à la découverte de deux nouveaux organites au sein de la cellule, les lysosomes et les peroxysomes. L'œuvre scientifique de C. de Duve fut couronnée en 1974 par le Prix Nobel de Physiologie ou Médecine partagé avec George Palade et Albert Claude « pour leurs découvertes relatives à l'organisation structurale et fonctionnelle de la cellule ».

On peut dire, sans risque de se tromper, que la compréhension du fonctionnement du vivant au niveau le plus intime de la cellule, à laquelle C. de Duve apporta une contribution décisive et, par ailleurs, l'élucidation des mécanismes de l'expression génétique ont été les grandes découvertes de ce siècle dans les sciences de la vie. Grâce à elles la biologie a gagné ses lettres de noblesse dans le concert des sciences au point qu'elle apparaît comme la discipline-reine du XXI^e siècle et que – en outre – elle permet de fonder de nouveaux espoirs de progrès tant technologiques et industriels que médicaux. C'est du reste très tôt, soit dès 1974, que C. de Duve, bien que lui-même se fût dédié à la recherche fondamentale, a voulu faire bénéficier l'essor de celle-ci dans le domaine qui était le sien au progrès de la médecine. Il crée dans ce but l'ICP ou Institut de Pathologie cellulaire (devenu depuis « Institut de Duve ») qui s'est rapidement hissé au meilleur niveau d'excellence internationale.

Mais ce n'est pas tant à l'exceptionnelle carrière du prix Nobel, reconnue et célébrée par ailleurs, que la Revue des Questions Scientifiques consacre ce numéro. C'est davantage de sa réflexion sur les grandes interrogations de l'humanité – telle qu'il l'a livrée dans ses écrits et interventions au cours des 20

dernières années – qu’il sera question. Cette réflexion nourrie aux sources de sa science et de sa profonde culture a produit une série d’ouvrages à grande audience où l’auteur fait le point, dans un style toujours élégant et limpide, des connaissances modernes sur la vie, pour s’interroger ensuite sur l’origine de celle-ci (« Une visite guidée de la cellule » De Boeck 1987, « Construire une Cellule » de Boeck 1990, « Poussière de Vie » Fayard 1995, « Singularités » Odile Jacob 2005, « À l’écoute du vivant » Odile Jacob 2002, réédité en Poche en 2005) et enfin – de manière plus philosophique – sur son avenir « La génétique du péché originel, le poids du passé sur l’avenir de la vie » Odile Jacob 2009, dont une deuxième édition remaniée vient de paraître).

En se risquant à la frontière entre la science et la philosophie, le professeur de Duve se range aux côtés d’autres grands penseurs biologistes contemporains qui, comme lui, se sont interrogés sur les implications plus radicales que simplement de progrès technologique, entraînées par la biologie. On songe en particulier à des auteurs français tels Monod, Jacob, Changeux mais aussi anglo-saxons tels Crick, Kauffman, Davies et des évolutionnistes tels Dawkins, Gould et quelques autres. Mais il fallait la stature intellectuelle de C. de Duve pour embrasser et développer en un seul tableau, comme il le fait dans son dernier ouvrage, la question de l’origine et du destin de l’espèce humaine.

La Revue des Questions Scientifiques invite ses lecteurs à rencontrer – en quelque sorte – en la personne de Christian de Duve un des grands témoins de la révolution scientifique mais aussi culturelle qui a marqué le siècle écoulé. La terre n’est plus depuis Galilée le centre de l’univers et, depuis Darwin, l’homme n’est pas hors – ni au sommet – de la nature qui aurait été créée une fois pour toutes avec lui et pour lui. Il y a 150 ans, au contraire d’en être désenchanté, Darwin terminait « L’Origine des espèces » par ces mots: « N’y a-t-il pas une véritable grandeur dans cette conception de la vie... ? ». Depuis, la réponse à la question « Qu’est-ce que la Vie ? » a été largement élucidée et on sait que celle de l’origine de la vie sera à rechercher, elle aussi, non dans des forces mythiques, naturelles ou surnaturelles mais dans des processus chimiques. Scientifique, humaniste mais aussi moraliste, C. de Duve nous parle de l’univers ou « ultime réalité » dans laquelle l’homme se trouve plongé et dont il acquiert chaque jour une perception plus riche par sa science mais où, s’il n’y prend garde, ses jours sont comptés en raison de sa propre incons-

science. L'odyssée de *Homo sapiens* pourrait s'achever en naufrage si l'humanité ne s'extrait du cul-de-sac évolutif où la sélection naturelle l'a précipitée.

L'analyse de cette situation périlleuse de l'humanité, telle que nous la fait C. de Duve à la lumière du paradigme de la sélection appris de Darwin, conduit à la conclusion inexorable que l'intelligence est à la source du péril, mais, paradoxalement, est aussi – en définitive – le seul recours que la sélection naturelle ait offert à l'humanité pour contrecarrer son destin. Encore faut-il que cette intelligence s'accompagne de sagesse ! Et l'auteur en appelle à la sagesse, dans le chef de chacun, mais bien sûr, en premier, de ceux qui sont considérés comme dirigeants dans nos sociétés.

Cette vision que C. de Duve nous dépeint d'une humanité, seule responsable de son avenir, nous semble mériter cette paraphrase de Darwin: « N'y a-t-il pas une véritable grandeur dans cette conception de la place de l'homme... ? »

* * *

Ce numéro de la revue comprend un « *Dialogue avec Christian de Duve* ». Le savant nous parle de sa vie, de son œuvre et surtout des grands thèmes de sa réflexion philosophique. Il répond à Eddy Caekelberghs, journaliste RTBF, Dominique Lambert (Philosophe et Physicien) et Jean Vandenhautte (Généti-cien). Deux articles suivent, le premier d'un physicien théoricien, l'autre d'un philosophe des sciences. Amand Lucas, s'est trouvé une passion pour la biologie moderne, son histoire et ses implications sur la vision du monde. Il donne ici (« *À la Grand-Messe Darwinienne : les Évangiles selon de Duve et selon Monod* ») quelques notes de lecture personnelles des ouvrages du professeur de Duve. « *Du monisme au pessimisme : une lecture théologique et philosophique de Christian de Duve* » sous la plume de Dominique Lambert, scientifique et philosophe mais dont l'érudition dans le domaine de la théologie est largement reconnue, revisite les écrits de C. de Duve sous le double angle d'analyse énoncé en titre. Robert Wattiaux, médecin et biochimiste, élève et collaborateur de la première heure du professeur de Duve, contribua aux recherches sur le lysosome. Son article « *Christian de Duve et la découverte des lysosomes et des peroxysomes* » retrace les lignes de faite de cette découverte qu'il replace dans le contexte de ses souvenirs personnels de la vie au laboratoire de la rue des Doyens à Louvain. La note de Jean Vandenhautte, généticien moléculaire, « *À propos de la référence à la génétique et l'épigénétique dans la vision de Christian*

de Duve sur l'avenir de notre espèce » rappelle le sens des termes qu'utilise C. de Duve quand il en appelle à une réponse épigénétique à la faille génétique (ou « péché originel ») qui affecte l'homme.

Guy Demortier, éditeur de la revue retrace les contacts que la Société Scientifique de Bruxelles a eus avec le professeur de Duve ; il mentionne une série de ressources internet relatives aux récentes interventions de C. de Duve dans les medias. Une publication antérieure de C. de Duve « Les leçons de la Vie » est rééditée dans ce numéro. Elle clôturait un N° spécial intitulé « Qu'est-ce que la Vie ? » sur le thème du colloque du même nom tenu à Namur en 2006 et auquel C. de Duve avait participé.

Enfin, les lecteurs auront le privilège de lire une note biographique inédite « *Philosophe et théologien malgré moi* » que C. de Duve a bien voulu rédiger pour la Revue des Questions Scientifiques. Peut-on comprendre l'œuvre et la pensée d'un auteur en abstraction complète de son cheminement et de ce qui l'a nourri et formé?

Avec ce numéro spécial, la « *vénérable* » Revue des Questions Scientifiques, comme la qualifie C. de Duve en préambule de son article (elle est en effet plus que centenaire) répond pleinement à sa vocation : traiter les questions scientifiques c'est-à-dire en exposer non seulement les tenants scientifiques – ici il s'agit de biologie – mais aussi les implications humaines qu'elles soient sociétales, ou philosophiques... En l'occurrence celle que pose magistralement le professeur de Duve – la survie de notre espèce mise en péril par ses caractéristiques biologiques issues de la sélection naturelle – est d'une importance singulière. Mais par ailleurs, ce numéro spécial illustre aussi l'évolution qu'a connue la Revue depuis ses débuts où le traitement des questions scientifiques, en particulier lorsqu'il s'agissait de biologie ou de cosmologie, pouvait souffrir de préconceptions vitalistes ou créationnistes, largement répandues et partagées à l'époque par les éditeurs de la revue. Il suffit pour s'en convaincre de relire certains articles parus dans la première moitié du siècle dernier, par exemple consacrés à la théorie Darwinienne (de Sinety, 1905) ou encore à la question des races (Manquat 1939). Mais on doit à la vérité de dire que des articles de G. Lemaître (qui ne mélangeait pas les genres) y trouvèrent aussi leur place (tel p.ex. « La théorie de la relativité et l'expérience » paru dans le N° spécial du 50^e anniversaire de la Revue en 1926 où son article fait suite à une lettre de Pie XI). Pour rendre clair un changement et une

ouverture qui ne datent cependant pas d'hier, la Revue des Questions Scientifiques adopte avec ce numéro une nouvelle présentation de couverture. On y notera son sous-titre : « Actualité, Histoire et Philosophie des Sciences ». Cette revue n'est en effet pas « de » science mais « à propos de sciences » et elle traite dès lors bien de *questions*, plus que de savoirs. Chacun s'accordera pour reconnaître que l'entreprise scientifique et ses résultats importent à la société non seulement au plan de la science comme culture et comme source de progrès techniques, mais aussi au plan du renouvellement des conceptions qu'elles engendrent pour l'homme et en particulier de son regard sur lui-même et sur le monde. Plus que jamais une telle revue généraliste, ouverte sur notre temps et ses questions, nous semble mériter sa place dans le concert de ce qu'on appelle les « medias ».

Nous formons le souhait que nos lecteurs apprécieront et encourageront les efforts du comité éditorial pour faire évoluer la revue dans cette direction. La création d'un site assure au lecteur la communication aisée avec le comité éditorial et offrira, très prochainement, l'accès à l'ensemble des tables de matières de la collection complète de la revue (<http://www.revuedesquestions-scientifiques.be>). À moyen terme, la collection sera numérisée *in extenso* et les articles de ce riche thesaurus pourront être obtenus sur demande.

Pour le comité éditorial,
JEAN VANDENHAUTE



Dialogue avec Christian de Duve

EDDY CAEKELBERGHS, DOMINIQUE LAMBERT, JEAN VANDENHAUTE¹

Christian de Duve, prix Nobel de médecine, a livré dans son dernier ouvrage « Génétique du péché originel. Le poids du passé sur l'avenir de la vie » Coll. Science Ed. Odile Jacob (2009), dont une nouvelle édition remaniée vient de sortir, une analyse tout à fait originale du fardeau génétique que l'homme aurait acquis par la sélection naturelle et qui, si rien n'est fait, risque de le conduire inexorablement à son extinction.

Christian de Duve (CdD) s'est prêté aux questions de Eddy Caekelberghs dans une interview récente à la RTBF (19/01/2010). La Revue des Questions Scientifiques a poursuivi le dialogue avec le professeur de Duve. C'est l'ensemble des réponses aux questions que nous lui avons posées (Q), telles qu'il les a livrées au cours de ces conversations, qui est rapporté ici pour nos lecteurs. Certaines notes infrapaginales viennent compléter le texte lorsque les éditeurs l'ont jugé utile.

Q. Professeur de Duve, votre dernier livre, comme le mentionne son sous-titre, aborde les menaces qui pèsent sur l'avenir de la vie, en particulier humaine, sur terre.

CdD. C'est le dernier testament que j'ai écrit. Dans ce livre, je ne m'étends pas en grands détails sur les problèmes auxquels l'humanité se trouve confrontée. J'estime qu'on en parle abondamment dans tous les media et il n'y a rien que je puisse ajouter à ce sujet qui n'ait déjà été dit, qu'il s'agisse du réchauffement climatique, de la déforestation, de la pollution, de la perte de biodiversité etc.

Ce que j'analyse, ce sont les causes qui font que l'humanité est aujourd'hui en péril. Comment l'espèce humaine qui a connu un essor prodigieux grâce à

1. E.C, journaliste RTBF, D.L et J.VDH, Université de Namur

son intelligence se trouve-t-elle aujourd'hui menacée?

Q. Le point de vue que vous adoptez est d'abord biologique. Aussi débutez-vous votre livre en nous rappelant que l'explication du vivant et de son origine est totalement scientifique.

CdD. Je préfère une affirmation plus nuancée. En tant que scientifique, j'ai toujours suivi ce que j'appellerai non pas une doctrine, mais une hypothèse de travail, un postulat. Cette hypothèse de travail qui anime la recherche scientifique pose que les phénomènes sont explicables naturellement. C'est la seule possible. Si je devais partir, comme le font certains partisans du dessein intelligent, de l'affirmation *a priori* que certains phénomènes ne sont pas explicables, je n'aurais plus qu'à fermer mon laboratoire. Dans ce sens, la thèse du dessein intelligent n'est tout simplement pas une théorie scientifique.

Q. Vous vous opposez au créationnisme?

CdD. Certainement dans la signification actuelle de ce terme, qui sous-entend une acceptation littérale du récit biblique de la Genèse, tout à fait incompatible avec nos connaissances actuelles. Mais dans le terme de créationnisme se cache une notion plus générale qui dépasse de loin le cadre biblique, celle de «création», selon laquelle l'univers, avec tout ce qu'il contient, y compris les êtres vivants et, donc, les humains, est l'œuvre d'un créateur. Cette notion est acceptée comme allant presque de soi par un grand nombre de personnes, peut-être une majorité. Elle repose sur un raisonnement simple, que Paley¹, le père de la «théologie naturelle», a illustrée il y a 200 ans avec sa célèbre analogie de la montre et de l'horloger: si vous trouvez, dit-il, une montre, vous concluez obligatoirement à l'existence d'un horloger. Cette conception se retrouve de manière générale chez l'ensemble des déistes aujourd'hui, lesquels affirment que l'univers trouve son explication dans l'existence d'un grand architecte qui l'a imaginé et créé. En soi, une telle croyance n'est pas incompatible avec l'attitude scientifique pour autant qu'il s'agisse d'un créateur «non-interventionniste» qui s'est contenté de créer le monde avec ses lois et, ensuite, l'a laissé évoluer librement. Pour ma part, et ce à titre strictement personnel, j'ai un problème avec cette notion. Je pose la question: «Mais ce grand architecte qui l'a créé ? ». On rétorque qu'il n'a pas été créé, il est incrée, c'est l'Être. Mais dès lors que l'univers existe, on ne voit plus la nécessité de faire appel à un créateur transcendant: il est plus simple de considérer que l'univers se confond avec l'Être. Ainsi pour moi, c'est cet univers-là,

auquel j'appartiens, que j'appelle « Ultime Réalité ». C'est cette « Ultime Réalité » – terme imprécis qui recouvre le concept d'univers – que l'esprit humain tente d'appréhender.

Q. Mais si la création est une thèse écartée, comment la science rend-elle compte de l'apparition de la vie ?

CdD. On doit à Jacques Monod cette phrase célèbre: « l'univers n'était pas gros de la vie ni la biosphère de l'homme ». Or, je dis pour ma part que cela est un non-sens puisque l'univers a donné naissance à la vie et la biosphère a donné naissance à l'homme. Donc cela ferait deux fois une naissance sans grossesse ! Deux miracles ! Ainsi, curieusement j'ai accusé Monod d'avoir une attitude créationniste, ce qu'il n'aurait certes pas admis. Bien entendu, il ne s'exprimait pas littéralement. Ce qu'il voulait dire est que l'apparition de la vie est un évènement extrêmement improbable qui avait toutes les chances de ne pas se produire. Même chose pour l'apparition de l'Homme, la vie étant née. Nous sommes donc, selon Monod, le produit d'une double improbabilité, d'une improbabilité au carré. «Notre numéro», écrit-il, «est sorti au jeu de Monte Carlo» (*Le Hasard et la Nécessité*, p. 161).

Je ne suis pas d'accord avec cette conception.

Pour moi, la vie est apparue naturellement suite à des phénomènes chimiques. Or, ceux-ci sont strictement déterministes : mêmes causes, mêmes effets. Si ce n'était pas le cas, on n'aurait pas de laboratoires de chimie, on n'aurait pas d'usines chimiques car ce serait trop dangereux s'il y avait un élément de hasard. Donc ces mécanismes chimiques étant strictement déterministes cela veut dire, d'après ma vision, que, dans les conditions physico-chimiques qui régnaient sur la terre quand la vie est née, elle devait apparaître.

Q. Pourriez-vous préciser le rôle du hasard dans l'évolution et la notion de « contrainte du hasard » que vous évoquez dans le passage suivant de l'un de vos ouvrages² :

« Je soupçonne que le hasard pourrait avoir joué un rôle moindre, et la nécessité un rôle plus important, que ne le croient Monod et de nombreux biologistes moléculaires et évolutionnistes contemporains. Ce soupçon ne repose pas sur des arguments solidement structurés. Peut-être s'agit-il simplement d'un désir déguisé en pensée inspiré par le fait que, contrairement à Monod, je ne me complais pas à

2. *Construire une cellule*, op.cit., p.290.

l'idée d'être « seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où (j'aurais) émergé par hasard » (J. Monod³). D'une manière plus rationnelle, mon préjugé se fonde sur le sentiment que le principe d'assemblage modulaire, avec les restrictions qui en découlent, a continué à jouer un rôle majeur dans l'évolution, utilisant des modules de dimension et de complexité croissantes. Les « contraintes du hasard » pourraient être beaucoup plus contraignantes que l'on ne le suppose généralement. »

CdD. Dès 1972, j'ai explicité ce thème des « contraintes du hasard »,⁴ une notion qui est proche de celles qui ont été développées par le grand spécialiste des probabilités, Émile Borel. En fait un phénomène aléatoire est caractérisé par sa probabilité d'occurrence (1/2 pour l'obtention de « pile » dans le lancer d'une pièce de monnaie). Or cette probabilité est toujours définie par rapport à un ensemble bien précis de possibilités, de configurations (2 dans le cas de la pièce), qui fixent les limites : les contraintes du hasard. Ces contraintes ont pour effet, dans certaines circonstances, d'estomper progressivement l'incertitude pesant sur le phénomène. Si nous répétons un grand nombre de fois, disons mille fois, un lancer de pièce, le phénomène a beau être régi par le hasard, nous pouvons être pratiquement certains que le côté « pile » sortira au moins une fois. Comme je le dis de manière concise: « Le hasard n'exclut pas l'inévitabilité » ! Le recours à une intervention « spéciale », extérieure au monde physique, pour expliquer la genèse des structures complexes du vivant, ne tient plus au regard des facteurs qui régissent l'évolution. Les contraintes du hasard délimitent un « espace » borné qui, vu les longues échelles de temps et le nombre extrêmement grand des individus participants, finira toujours par être complètement exploré, ou presque.

L'environnement, quant à lui, joue un rôle de filtre qui laisse passer, parmi les structures qui lui sont offertes, celles qui lui sont le mieux adaptées. Le résultat d'une telle sélection dépend évidemment du nombre de possibilités soumises à la sélection par le hasard. Dans mon livre « Singularités. Jalons sur les chemins de la vie »⁵ j'ai reprécisé cela en détails. Tout dépend du rapport entre le nombre d'occasions qui sont offertes par le hasard pour qu'un évène-

3. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1970, p.195.

4. « Les contraintes du hasard », *Revue générale. Perspectives européennes des sciences humaines*, février, 1972, p.22. Nous renvoyons aussi à « *The Constraints of Chance* », *Scientific American*, January 1996, p.96 et « *A l'écoute du vivant* », Paris, Odile Jacob, 2002, pp.209-210.

5. Paris, Odile Jacob, 2005.

ment se produise et la probabilité de cet évènement. D'après mes calculs, pour qu'un évènement ait 99,9 % de chances de se produire, il faut lui donner un nombre d'occasions égal à un peu moins de sept fois l'inverse de sa probabilité. Ainsi, il suffit de jeter un dé quelque 38 fois pour garantir à 99,9 % qu'un chiffre donné sorte au moins une fois. On a 99,9 % de chances de gagner à la loterie avec un numéro de sept chiffres si 69 millions de tirages sont effectués. Bien entendu, nos loteries ne fonctionnent pas de cette manière, mais bien la loterie de l'évolution, dans laquelle l'éventail des possibilités a fréquemment été balayé d'une manière suffisamment complète pour assurer un processus de sélection voisin de l'optimum. Cette vision rejoint celle de nombreux évolutionnistes modernes, tels Simon Conway Morris et Richard Dawkins, qui, à l'encontre de ce que j'ai appelé «l'évangile de la contingence» prôné par Monod, Stephen Jay Gould et d'autres biologistes de leur génération, soulignent la fréquence des convergences évolutives et défendent une vision presque déterministe de l'évolution. (*pour références de C. Morris et R. Dawkins, voir «Péché originel», p. 106*)

Q. Que sait-on de ces conditions physico-chimiques préalables ? Comment les constituants indispensables à l'apparition de la vie sont-ils eux-mêmes apparus ?

CdD. J'ai abordé cette question dans plusieurs de mes livres. On a cru longtemps que la chimie abiotique qui a conduit à l'apparition des constituants nécessaires à l'élaboration progressive des structures propres à la vie devait être pratiquement hors d'atteinte du chercheur. Il y avait bien des idées qui circulaient et notamment, dès les années 20, celles du célèbre biochimiste soviétique Alexandre Oparin mais sans que ces idées fussent jamais éprouvées expérimentalement. Comme je l'écris dans mon livre « Construire une cellule », c'est en 1953 que la bombe éclata. Stanley Miller, jeune chimiste travaillant dans le laboratoire de Harold Urey, essaya de reproduire les conditions qui, d'après Urey, auraient prévalu sur la Terre primitive (un mélange gazeux réducteur simple comprenant du méthane, de l'hydrogène, de l'ammoniac et de l'eau) et y produisit des décharges électriques qui devaient figurer des éclairs orageux. Après une durée de l'ordre d'une semaine des acides aminés et d'autres molécules organiques typiques du vivant furent décelées dans le flacon d'expérience. Cette expérience fut reproduite un très grand nombre de fois et, de manière parfaitement déterministe, les mêmes conditions conduisirent aux mêmes résultats. Ce travail mémorable a véritablement ouvert une voie dans

laquelle depuis, des dizaines de laboratoires se sont engouffrés. Cependant si, comme j'ai pu l'écrire : « Après le monde organique, le monde prébiotique était délivré du souffle vital et pénétrait au laboratoire » après plus d'un demi-siècle de travaux la question de l'origine de la vie est loin d'être épuisée.

Depuis cette expérience célèbre, de nouvelles découvertes hautement significatives ont été effectuées. On a trouvé, notamment par l'analyse de comètes à l'aide d'instruments portés par des véhicules spatiaux et, surtout, par celle de météorites tombées sur la terre, qu'un très grand nombre de composés organiques, y compris les principales briques chimiques de la vie, se forment spontanément dans de nombreux endroits du système solaire. L'étude spectrale des radiations venant de l'espace indique que des phénomènes semblables ont probablement lieu dans de nombreuses autres régions de notre galaxie et dans d'autres galaxies.

Le problème qui préoccupe les chercheurs aujourd'hui est de trouver dans quelles conditions physico-chimiques et de quelle manière les produits de la chimie cosmique ont réagi pour donner naissance aux protéines, acides nucléiques et autres grosses molécules qui constituent les êtres vivants, et, aux dépens de ces dernières, aux premières cellules vivantes primitives. Jusqu'à présent, on a trouvé peu de réponses à ces questions. Mais les chercheurs sont loin d'avoir dit leur dernier mot. Tous, en tout cas, s'inspirent du postulat naturaliste selon lequel les processus en cause étaient de nature chimique et, donc, nécessaires dans les conditions où ils ont eu lieu.

Q. Mais si on peut suivre le credo déterministe pour rendre compte de l'apparition de la vie, en revanche ce déterminisme n'est-il pas, par définition, sans surprise ? Comment rendre compte de l'innovation et de la complexité croissantes que la vie exhibe, une fois apparue ?

CdD. La chimie déterministe ne semble en effet pas capable de créer par elle-même la complexité surprenante qui est observée dans la biosphère. Il faut introduire ici un facteur de hasard en quelque sorte « créatif ». Nous en avons déjà touché un mot plus haut. C'est en réalité le grand mérite de Darwin d'avoir substitué à l'explication créationniste de la diversité des espèces celle, parfaitement naturelle, de la sélection. Darwin observe qu'au sein de toute population existent des individus variants, diversement adaptés aux conditions, de telle sorte que, naturellement, les mieux adaptés d'entre eux contribueront davantage, par leur succès reproductif, à la génération suivante. Ce mécanisme

de sélection en réponse à la compétition agira comme moteur de l'évolution d'une population au fil des générations.

La biologie moléculaire nous a appris depuis Darwin que la source de la variation, indispensable à l'exercice de la sélection, résidait dans l'apparition au hasard de mutations. Ainsi donc, du hasard aveugle émergeant – par la sélection – des formes mieux adaptées au milieu. Bien qu'étonnante et merveilleuse, l'adaptation n'est ni le fruit d'un dessein « intelligent » ou d'un architecte ni, comme le pensaient les premiers évolutionnistes (dont Lamarck), le résultat d'un effort adaptatif de l'individu à son milieu changeant.

En fait, ce processus de descendance avec modification et de sélection des plus aptes, décrit par Darwin, s'exerce déjà au niveau moléculaire, au niveau chimique qui, comme je l'ai dit, prévalait au stade prébiotique dont nous parlons. Cette évolution moléculaire est vérifiée *in vitro* au laboratoire⁶. Dans ces expériences, qualifiées parfois de darwinisme moléculaire, au lieu de suivre l'évolution d'organismes vivants au cours des générations successives, on examine directement l'évolution des molécules répliquatives (ADN ou ARN) elles-mêmes. Je rappelle que ce sont précisément ces molécules douées de répllication qui portent le contenu « informatif » ou autrement dit, les instructions héréditaires du vivant. Or, du moment qu'il y a reproduction ou répllication moléculaire (le biochimiste réunit dans ce but les ingrédients nécessaires à la réaction dans le tube à essai), il y a fatalement des erreurs ou des accidents : la reproduction n'est jamais parfaitement fidèle et il apparaîtra donc nécessairement des variants. Si à chaque cycle de multiplication une sélection s'opère pour un caractère propre ou dépendant de la molécule répllicative (ADN ou ARN), on verra au fil des générations une amélioration progressive de ce caractère s'installer dans la population. Dans les conditions prébiotiques, la sélection naturelle est donc apparue dès qu'est née la première molécule capable d'être répliquée. On a de bonnes raisons de penser qu'il s'agissait de l'ARN (ou acide ribonucléique). La variation introduit dans les produits de multiplication, comme l'a fait remarquer très bien Darwin, de la compétition entre les différentes formes variantes. Et donc, fatalement, vont émerger les formes ou la forme la mieux adaptée à « survivre » c'est-à-dire – dans le cas des molécules

6. Inauguré en 1968 par le chercheur américain Sol Spiegelman, ce genre d'expériences a été effectué depuis dans de nombreux laboratoires pour produire, notamment, des molécules d'ARN ou d'ADN, et, indirectement, de protéines, sélectionnées par des contraintes imposées pour manifester des propriétés particulières prédéterminées.

réplicatives primitives – à se reproduire dans les conditions physico-chimiques qui prévalent. En fait, ce sont les conditions du milieu qui vont décider de la sélection, de quelle forme particulière va prospérer au détriment des autres.

Q. Le déterminisme chimique, la variation et la sélection suffisent donc à rendre compte de la diversification, de l'innovation et de la complexification au sein du vivant. Mais est-ce que toute la réalité est ainsi explicable par la science ?

CdD. Le scientifique approche la réalité par la facette intellectuelle. Cela conduit en physique théorique par exemple, ou en cosmologie, à des conceptions qui deviennent extrêmement mathématiques et abstraites. À côté de cette approche scientifique il y a l'approche esthétique : l'émotion qui est inspirée par les arts visuels, par la musique, par la littérature. La dimension éthique constitue une autre facette. Il y a enfin l'amour. L'« Ultime réalité » dont je parlais il y a un instant est approchée sous des angles très différents. La science fait reculer la part de mystère. Est-ce que tout sera connaissable, demandez-vous. Cela revient à savoir si l'homme est doté du cerveau qui lui permettra d'atteindre cette connaissance. Je pense que nos moyens intellectuels sont très limités, essentiellement par notre capacité cérébrale. Cette limite fait que l'appréhension ou la compréhension que nous avons de l'univers est encore tout à fait liminaire – et condamnée à le rester aussi longtemps que nos facultés intellectuelles resteront à leur niveau présent.

Par le passé il y eut toute une série d'espèces d'hominidés ou de pré-humains qui nous ont précédés qui, chacune, avait des moyens intellectuels qui dépassaient ceux des espèces précédentes. Nous sommes de la sorte l'aboutissement actuel d'une chaîne d'événements au cours desquels nos ancêtres ont acquis des cerveaux de plus en plus volumineux, de plus en plus performants, de plus en plus complexes. En théorie, on ne voit pas pourquoi on pourrait exclure que ce phénomène ne continue. Mais l'apparition d'une espèce humaine nouvelle s'accompagnerait, comme ce fut toujours le cas, de l'extinction de l'espèce actuelle. C'est une éventualité qui ne paraît pas envisageable aujourd'hui, mais qui nous guette à long terme si nous ne prenons pas les mesures qui s'imposent.

On peut aussi imaginer la transformation génétique dirigée de notre espèce effectuée par nous-mêmes en vue d'augmenter ses capacités adaptatives et cognitives. Mais nous sommes là dans de la science fiction. Indépendam-

ment même des problèmes éthiques que la question soulève, nous sommes incapables, pour toutes sortes de raisons, de réaliser ce surhomme éventuel. Quant à la manière dont des êtres doués d'un cerveau de taille double ou triple du nôtre, par exemple, pourraient appréhender l' « Ultime Réalité », nous sommes tout aussi incapables de l'imaginer, avec les moyens limités dont nous disposons, que n'eût été Lucy, avec son petit cerveau, de concevoir notre intelligence du monde.

Q. Notre espèce représente donc le stade actuel d'aboutissement de la chaîne du vivant avec comme caractéristique la plus notable, dites-vous, son intelligence. Celle-ci lui a permis de s'affranchir dans une certaine mesure de la pression de sélection naturelle. Il n'y a plus une nécessité pour l'homme de s'adapter à un milieu, puisqu'il peut tout simplement agir sur ce milieu afin d'assurer sa survie. Il s'est donc emparé de son milieu !

CdD. Oui, l'espèce humaine est évidemment la grande gagnante de la loterie de la vie. Elle a atteint un degré de développement qu'aucune autre espèce vivante n'a réussi à atteindre et c'est effectivement ce degré de développement démesuré, au cours du dernier siècle et surtout des dernières décennies, qui compromet son avenir aujourd'hui. Si l'espèce disparaît, elle aura été victime de son succès et non d'un échec comme ce fut probablement le cas pour les espèces précédentes.

Q. Vous utilisez pour désigner la cause première des menaces qui nous assaillent le terme de « péché originel ». De quoi s'agit-il ?

CdD. Le livre, avec en titre cette notion de péché originel, n'est pas une thèse d'exégèse biblique. Selon la vision darwinienne que je défends, les traits génétiques imprimés dans notre patrimoine génétique y ont été inscrits par la sélection naturelle qui les a retenus parce qu'ils étaient utiles à nos ancêtres dans des temps plus ou moins éloignés. ... Utiles sans doute jadis, mais, pour certains, devenus nocifs aujourd'hui. Donc je crois déceler une faille dans notre génome, dans notre nature, qui y a été inscrite par la sélection naturelle, comme je viens de le dire. J'ai rapproché cette notion de l'histoire biblique du péché originel. Je propose que les écrivains sacrés ont reconnu l'existence de cette faille et l'ont interprétée dans le cadre d'une histoire fabuleuse avec les images pittoresques de paradis terrestre, Adam et Eve, le serpent, la pomme ... et le péché originel ou la « chute » qui précipite l'humanité dans le malheur. Bien sûr il s'agit là d'un récit mythique, de poésie, mais il y a peut-être dans ces

histoires un fond de vérité pressentie : ces écrivains ont perçu avec perspicacité l'existence d'un défaut dans notre nature qui risque de provoquer notre perte.

Q. De quelle faille s'agit-il précisément ? Comment la sélection naturelle qui par le passé a toujours assuré la survie des plus aptes pourrait-elle être prise en défaut pour ce qui concerne la descendance de notre seule espèce ?

CdD. La sélection naturelle travaille pour l'immédiat et pas pour le long terme ; c'est important à bien comprendre. La sélection naturelle n'a pas de vision. Elle agit d'une manière aveugle et en conséquence, elle fait émerger automatiquement les formes qui sont le plus avantagées, mais cela dans les seules circonstances présentes. Elle ne peut pas prévoir l'avenir ni, par conséquent, avantager des changements qui devraient être faits pour être en mesure, dans un an ou dans dix ans ou dans un million d'années, de répondre à tel ou tel nouveau défi. Pour nos lointains ancêtres qui, il y a quelques centaines de milliers d'années, parcouraient en petites bandes les forêts et les savanes africaines, cherchant de quoi survivre par la chasse et la cueillette, les traits favorisés par la sélection naturelle étaient ceux qui permettaient le mieux aux membres de ces petites bandes de survivre et de se multiplier dans les conditions existantes. Parmi ces traits, il y avait la résistance physique, ainsi que l'intelligence, l'habileté manuelle, l'inventivité et les autres facultés liées au développement du cerveau, mais aussi ce que j'appelle l'égoïsme de groupe. Égoïsme, certes, pour des raisons évidentes, mais étendu au groupe, car les membres individuels d'un groupe avaient plus de chances de succès en s'entraïdant qu'en rivalisant les uns avec les autres. Par contre, l'égoïsme de groupe s'accompagnait nécessairement d'agressivité et d'hostilité à l'égard des autres groupes concurrents. Toute l'histoire de l'humanité est une histoire de guerres et cela continue encore aujourd'hui. Donc nous sommes une espèce guerrière et c'est une des raisons pour lesquelles nous allons vers notre perte. Nous nous disputons tout le temps alors que nous devrions nous entendre.

Q. Si ces traits d'égoïsme et d'agressivité qui furent favorables à l'essor de l'espèce sont inscrits dans notre hérédité, avec toutes les conséquences délétères que, paradoxalement, le succès obtenu entraîne aujourd'hui, la situation est-elle pour autant désespérée et l'avenir de l'humanité serait-il scellé ?

CdD. Ce que je souligne aussi dans le livre – et je crois que c'est la leçon la plus importante et peut-être son seul message d'espoir – c'est que dans une certaine mesure, grâce à la sélection naturelle qui nous a donné le cerveau qui

est le nôtre, grâce à ce cerveau – je dirais « cadeau » de la sélection naturelle – nous sommes les seuls êtres vivants dans tout le monde connu qui ayons la capacité de faire ce que la sélection naturelle ne fait pas: prévoir l'avenir, imaginer les mesures à prendre, les décider et les mettre en oeuvre. Nous pouvons – et nous sommes les seuls à pouvoir le faire – agir contre la sélection naturelle.

Q. Quelle action de « rédemption » pourra faire pièce au « péché originel » génétique ?

CdD. La rédemption ne peut venir que de nous-mêmes : les réflexions et les actions que les êtres humains font ou vont faire pour essayer de sauver la planète, sauver la vie, sauver l'espèce. La prise de conscience des menaces est évidemment cruciale. On doit réaliser à ce propos que le souci pour l'avenir de la planète et celui du monde vivant est extrêmement récent dans l'histoire de l'humanité. Il y a un peu plus de 50 ans, personne ne se souciait de l'environnement. C'est une préoccupation qui est née au lendemain de la dernière guerre et qui s'est amplifiée depuis, à cause, notamment, du caractère croissant des menaces qui pèsent sur l'avenir. Nous citions au début de cet entretien une série de symptômes bien connus du mal général de la planète et dont les médias parlent aujourd'hui abondamment : le changement climatique, l'élévation du CO₂ atmosphérique, la déforestation, la désertification, l'épuisement des ressources naturelles, la perte de biodiversité, la crise de l'énergie, la pollution de l'environnement. Toutes ces menaces sont connues et on commence à agir contre elles, mais d'une façon totalement insuffisante. On doit souligner qu'elles connaissent toutes une cause unique: l'augmentation débridée des populations. Tous ces symptômes manifestent la surcharge de la planète par l'espèce humaine. Au cours de ma seule vie la population du globe a quadruplé. Il est évident que cette croissance est insoutenable. Malthus a prédit cette situation il y a plus de 200 ans. Et depuis l'on a continué à dire – Malthus ce n'est pas important – parce que chaque fois qu'il y eut un problème celui-ci fut résolu par la science et par la technique. Pensons par exemple à la formidable augmentation de la productivité agricole...de même pour les ressources énergétiques. La découverte de nouvelles ressources et l'invention de technologies plus performantes ont toujours permis de répondre aux besoins croissants. Mais c'était vrai jusqu'aujourd'hui. En réalité, maintenant, on se trouve brusquement devant la crise prévue par Malthus : il y a trop de consommateurs dans le monde et c'est parce qu'il y a trop de consommateurs que les ressources finies de la planète sont aujourd'hui gravement menacées, à quoi il faut ajou-

ter les problèmes humains croissants qui affectent les grandes agglomérations urbaines. Tous ces maux que nous constatons sont la conséquence du seul phénomène de la surpopulation. La rédemption dont vous parlez consiste donc à répondre rationnellement à ce défi, avec sagesse. Il y a urgence.

Q. Vous évoquez dans votre livre un certain nombre de scénarios de réponse. Il y a évidemment la position qui consisterait à ne rien faire et attendre, mais cela nous mènerait d'office à la catastrophe. Il y a aussi cette autre idée de répondre à un problème issu de nos gènes en modifiant ceux-ci. Mais cette solution n'est pas à notre portée. En outre, dans le champ éthique, l'amélioration génétique est une question épineuse.

CdD. On pourrait dire en effet logiquement : nous avons de mauvais gènes, donc extirpons-les et remplaçons-les par de bons gènes. Tout d'abord, ce n'est pas techniquement tout à fait faisable aujourd'hui, du moins dans l'espèce humaine, surtout sans risque. Mais il y a plus : même si cela devenait techniquement faisable, encore faudrait-il savoir quels gènes il faut enlever ou introduire. Nous savons encore très peu de l'influence génétique sur les qualités physiques ou psychologiques. On voudrait faire un petit Mozart ou une petite Martina Navratilova, on ne saurait pas quels gènes il faut changer. Et même si on le savait, il resterait encore à décider quel changement on désire introduire et chez qui.

Q. Donc le clonage ne sera pas une solution.

CdD. Non, ce ne sera pas une solution et ce n'est pas la peine de s'étendre sur la question.

Q. Mais pourquoi une réponse « naturelle » sous l'effet de cette même sélection qui a marqué notre génome ne serait-elle pas néanmoins concevable ? L'égoïsme de groupe avec son corollaire, l'agressivité ont été imprimés à la faveur de la sélection et ont assuré le succès de l'espèce. Maintenant que le poids du passé pèse sur l'avenir de l'espèce et est en train de causer sa perte, pourquoi ne verrait-on pas à nouveau la sélection répondre à cette nécessité nouvelle ? Pourquoi pas un retour à moins d'agressivité, plus de tolérance et en réalité à un comportement « sage » dont vous dites que dépend le salut de l'espèce ?

CdD. En principe, ce n'est pas à exclure. Mais à quelles conditions ? Il faudrait au départ une modification génétique porteuse de plus de « sagesse » affectant un individu donné. Il faudrait ensuite des conditions d'isolement

géographique ou reproducteur permettant à la modification en question de se répandre dans la progéniture de l'ancêtre mutant. Il faudrait enfin que les porteurs de la mutation soient sélectivement avantagés par rapport à ceux qui ne la possèdent pas. On voit aisément comment de telles conditions ont pu être réalisées à l'époque où nos ancêtres constituaient de petites bandes errantes. Leur réalisation dans le monde d'aujourd'hui est difficilement pensable, sauf bouleversement majeur, avec presque certainement à la clef la disparition de notre propre espèce. Il y a, en outre, le problème de l'avantage sélectif. La sélection naturelle, on l'a vu, ne retient que ce qui est immédiatement avantageux, ce qui est rarement le cas de la «sagesse» qui conduit souvent à sacrifier l'immédiat au profit du futur. Conclusion, nous ne serons pas sauvés par une modification génétique favorable retenue par la sélection naturelle. Nous devons faire confiance à l'«épigénétique».

Q. Vous proposez un scénario consistant à recâbler le cerveau.

CdD. Recâbler le cerveau, c'est une manière très scientifique de dire : éduquer. Ce scénario s'appuie sur le fait que, grâce aux recherches récentes sur le développement du cerveau, on sait un petit peu comment se crée son câblage.

Le cerveau, c'est quelque chose comme 100 milliards de cellules appelées neurones, et chacune de ces cellules est capable d'établir quelque 10000 connexions avec ses voisins. Il en résulte une complexité qui dépasse de loin celle de tous les ordinateurs du monde mis ensemble. La manière dont se crée ce câblage de notre machine cérébrale est un problème fascinant. Comme l'ont montré Jean-Pierre Changeux en France et Gérald Edelman aux États-Unis, ce câblage du cerveau est un phénomène épigénétique⁷ – qui n'est pas déterminé génétiquement – mais qui s'ajoute ou se surimpose aux données génétiques ; il est clair que les caractéristiques qui distinguent un cerveau de babouin d'un cerveau humain ont une base génétique et que dans le cerveau humain à la naissance il y a des propriétés génétiquement inscrites : tout n'est

7. Originellement, l'adjectif «épigénétique» a été créé pour signifier «ajouté au génétique». Il est toujours utilisé dans ce sens par les neurobiologistes et dans le livre de C. de Duve . Plus récemment, le substantif du même nom a été redéfini pour désigner une nouvelle branche de la génétique (en contradiction, donc, avec la première définition) qui prend en compte la part de l'hérédité qui n'est pas inscrite dans des séquences d'ADN. Un aspect très étudié concerne les modifications chimiques de l'ADN ou des protéines associées à l'ADN dans la chromatine. Les différentes acceptions du terme sont évoquées dans une note de J. Vandenhoute dans ce numéro.

pas inscrit épigénétiquement après la naissance dans un cerveau qui au départ serait « vierge ». Mais cependant, essentiellement, le câblage est l'œuvre des influences que subit l'enfant. Et, en conséquence, le moyen à mettre en œuvre pour contrecarrer notre patrimoine génétique défectueux, c'est d'agir épigénétiquement. Pour créer les câblages favorables, les connexions favorables, à l'intérieur du cerveau il faut recourir à l'éducation.

Q. Vous prônez d'accorder une place centrale à la femme .

CdD. Je le prône pour de nombreuses raisons. Chez les mammifères, les femelles sont biologiquement adaptées à s'occuper de leurs petits. C'est normal puisqu'elles leur donnent naissance, elles les allaitent, elle les soignent. Les femmes sont donc en charge de la première éducation d'un enfant dont je viens de rappeler l'importance cruciale pour le développement épigénétique favorable du cerveau.

Comme je l'ai dit aussi, la sélection naturelle a fait que notre espèce est guerrière et c'est une des raisons pour lesquelles nous allons vers notre perte. Or, si j'examine génétiquement cet instinct guerrier, je constate qu'il est plus développé chez les mâles que chez les femelles : les coqs se battent, les cerfs se battent, les mâles d'une manière générale se battent, souvent pour les femelles les plus désirables. L'agressivité chez la femme par contre est réduite ; elle se manifeste éventuellement quand ses rejetons sont menacés. Oui, je crois que les femmes – pour cette raison – ont droit à plus d'autorité et de responsabilité dans la gestion du monde. Je crois qu'elles pourraient probablement faire mieux que les hommes, sauf si elles commencent à agir comme les hommes. Et l'on est un petit peu tenté de croire que pour réussir, en politique notamment, une femme doit être extrêmement agressive, comme les hommes.

Q. Mais comment faire accepter et mettre en œuvre un vaste plan d'éducation qui arrive à toucher l'enfance dans son ensemble ? N'est-ce pas une utopie ? Vous suggérez de faire appel aux philosophies ou aux religions. Ce sont elles qui se sont investies pour expliquer le monde et éduquer l'homme.

CdD. Non je ne dirais pas que les religions donnent une explication du monde... leurs explications en réalité ne me conviennent pas : je préfère les miennes, celles de mes collègues scientifiques. Mais ce que je constate en effet c'est que, historiquement et encore aujourd'hui, les religions ont joué un rôle énorme dans l'éducation de manière générale. En Europe, nous savons

très bien que l'instruction a commencé notamment dans les abbayes et que l'éducation est toujours, pour une part importante, aux mains des églises. Aux Etats-Unis, même en Europe, c'est le cas. Ce sont aussi, dans une certaine mesure, les religions qui se sont préoccupées, en même temps que de l'éducation, des grands problèmes éthiques. Et donc, ce que je dis c'est que les religions possèdent en effet l'infrastructure qui est nécessaire pour l'éducation. Mais le problème qui se pose quand on dit « il faut éduquer ! » c'est de savoir comment le faire pour ces centaines de millions d'enfants dans le monde entier. Comment allons-nous réussir ce travail planétaire d'éducation ? Il faut que tout le monde s'y mette mais il est certain que les religions, les églises possèdent un réseau d'infrastructure extrêmement développé et qui peut servir à l'éducation. Grâce au levier dont elles disposent, elles sont bien placées pour transmettre le « bon » message. Mais malheureusement elles ne transmettent pas, le plus souvent, le message que, personnellement, je crois serait nécessaire. Ce message doit inciter l'humanité à agir pour éviter les catastrophes qui l'attendent et qui, en grande partie, sont la conséquence de ses activités.

Q. Vous préconisez que toutes les forces de pouvoir se coalisent pour modifier les mentalités et les comportements, coupables des excès que nous observons et des graves menaces qui se profilent à court terme.

CdD. Oui bien sûr, le politique a un rôle à jouer. Je ne me fais pas de grandes illusions. Je tire une sonnette d'alarme parce que je crois que je dois le faire. Ma responsabilité en tant que scientifique, comme je l'écris à la fin du livre, est d'exposer les faits, tels que je crois les voir. Il s'agit d'en tirer les conclusions logiques. A d'autres de décider et d'exécuter des décisions adéquates. Je le répète, je ne suis pas optimiste, mais il y a eu tout de même dans l'histoire récente des changements de mentalité marquants. Qu'on songe par exemple à la santé de la planète : il est incontestable que le sentiment écologique et d'écoresponsabilité s'est fortement propagé. S'agissant du problème de la surpopulation la prise de conscience reste très fragmentaire et fréquemment contrecarrée dans sa mise en oeuvre par des interdits doctrinaires.

Q. Sur cette problématique centrale de votre ouvrage, la surpopulation, vous faites des propositions qui touchent à des tabous notamment quand vous évoquez la nécessité de contrôler l'expansion démographique.

CdD. Nous serons bientôt plus de 9 milliards sur terre. Or, nous l'avons déjà dit, tous les maux que je dénonce – et que tout le monde dénonce d'ailleurs

avec moi, je n'ai rien inventé – sont la conséquence d'un phénomène unique : la surpopulation. Et cela Malthus l'avait prévu, mais c'est aujourd'hui que la crise éclate. Malthus voyait deux solutions à cette crise résultant de l'excès de population : éliminer « l'excès » ou agir de façon préventive pour empêcher l'excès de survenir. Les chasseurs utilisent la première solution: ils éliminent l'excès de gibier en sacrifiant surtout les bêtes malades ou trop vieilles. Mais nous serons tous d'accord pour dire que ce n'est pas une solution humaine d'éliminer l'excédent de population. Cependant nous le faisons dans une certaine mesure. On a quand même, par nos deux dernières guerres mondiales, éliminé des millions de jeunes qui étaient en âge de procréer. Donc on a certainement freiné un petit peu la démographie par les guerres, guerres barbares qui continuent encore à se succéder dans diverses parties du monde. Donc on élimine, mais ce n'est pas la solution. Il faudrait une solution qui soit pacifique et non sanglante.

Q. Vous dites, il faudrait limiter les naissances et encourager cette limitation des naissances. Donc, la contraception ne doit plus être seulement tolérée mais prônée. Là, pour le coup, vous allez vous fâcher avec toutes les religions du monde et en particulier avec le « natalisme chrétien » traditionnel.

CdD. Oui mais, à mon âge ce n'est plus très grave. Nous devons apprendre à utiliser notre cerveau, à utiliser la logique élémentaire. Or mon raisonnement – et il n'a rien d'une doctrine – c'est simplement de la logique élémentaire nous dit : on est trop nombreux, les chiffres sont là, et l'on sera de plus en plus en excès dans l'avenir. La planète est limitée dans sa surface, elle est limitée dans ses ressources et nous sommes occupés à exploiter à peu près tout ce qui est exploitable. Nous sommes par exemple occupés à déforester pour faire pousser du maïs ! Or, c'est évidemment tout à fait contraire à ce qu'on devrait faire. Donc la logique est implacable. Les chiffres sont implacables.

Et aucune autre solution que la limitation des naissances n'est proposée... sauf à faire confiance dans des lois hypothétiques, naturelles ou... surnaturelles qui viendraient à point nommé sauver l'espèce.

Q. Mais qui peut dicter ce changement ? Qui peut faire adopter vos principes dans le cadre éducatif ? Les églises dont vous préconisez la collaboration ont en cette matière des doctrines orthogonales par rapport à votre appel.

CdD. Vous avez raison. S'agissant de l'église catholique, on voit bien que

dans l'état actuel la solution ne viendra pas de Rome. Benoit XVI a encore réitéré solennellement en octobre 2008 sa condamnation inflexible de la limitation volontaire des naissances par des moyens autres que l'abstinence de rapports sexuels. Cependant si, comme je le crois, la limitation des naissances est la bonne solution, il faut que toutes les puissances qui ont le pouvoir mettent en oeuvre les mesures nécessaires pour encourager ce phénomène, voilà tout.

Q. Mais on sait les risques associés à ce genre d'action. L'eugénisme de Galton p. ex en est un exemple. Malthus lui-même prônait l'arrêt de toute aide aux nécessiteux du monde !

CdD. La nécessité est là qui contraint à réfléchir et à trouver à bref délai des solutions acceptables et efficaces. Mon propos est de souligner les faits et la nécessité qu'ils entraînent. L'analyse est implacable. Les providentialistes ou autres attentistes sont irresponsables. Je le répète, la catastrophe annoncée par Malthus est en cours de réalisation si on ne fait pas ce qui s'impose.

Q. Vous faites appel à la raison, mais est-ce que la raison aura raison de ce « péché originel », qu'identifie pour nous votre livre?

CdD. Je fais appel à la raison et surtout à la sagesse. La sagesse est une qualité très rare et qui n'a pas été imprimée dans nos gènes par la sélection naturelle parce que, d'une manière générale, la sagesse c'est quelque chose qui prévoit l'avenir, qui tient compte des perspectives c'est-à-dire de ce qui n'est pas utile dans l'immédiat, contrairement à la sélection naturelle laquelle agit dans l'immédiat uniquement. Si, comme je le crains, la sagesse n'est pas imprimée dans nos gènes, il faut donc l'introduire. Non pas dans nos gènes – il faudrait beaucoup de temps pour que la sélection naturelle finisse par avantager ceux qui auraient la sagesse innée ou génétique – non, il faut que cette sagesse devienne, je le répète, épigénétique. Sagesse et message de raison que les humains écouteront et suivront ou bien s'ils ne le font pas, je crains que les conséquences seront de plus en plus graves et déplorables. Si pas aujourd'hui, peut-être demain, peut-être dans un siècle, peut-être dans quelques siècles au plus tard, les conséquences deviendront tellement graves qu'on sera bien obligé de faire quelque chose, parce que nous verrons l'humanité accablée par des malheurs et des souffrances croissantes.

J'ai dit tout ce que j'avais à dire. Je souhaite que les dirigeants et les autorités de manière générale prennent pleine conscience de l'urgence ! Que les

individus et les masses se mobilisent comme elles commencent à le faire dans le cadre du problème énergétique et climatique ! Et qu'enfin les menaces qui pèsent sur notre destin soient détournées ! Ce vœu fervent est le mot de la fin par lequel je clôture mon livre testament.

Q. En conclusion, professeur de Duve, on ne peut pas s'empêcher de penser à cette phrase attribuée à Hillel l'Ancien : « Si je n'agis pour moi qui le fera et, si pas maintenant, quand ? ».

À la Grand-Messe Darwinienne

Les Évangiles selon de Duve et selon Monod.

AMAND A. LUCAS
Université de Namur
Amand.lucas@fundp.ac.be

Préambule

En Novembre 2001, peu après le 11 Septembre de sinistre mémoire, John Maddox (1925-2009), en son temps Editeur de *Nature*, nous avait fait l'honneur de participer à une conférence mémorable que Guy Demortier, Editeur de la *Revue des Questions Scientifiques*, et moi avions organisée à l'Université de Namur sur le thème *Collisions in the Universe* (les actes de ce colloque sont parus dans la *Revue des Questions Scientifiques*, Vol 174, Nos 1-2, 2003). Nous avons invité Maddox pour deux raisons : 1) faire appel à sa grande expérience dans l'évaluation des progrès scientifiques publiés dans le célèbre journal, en lui demandant de résumer les interventions à la fin du colloque ; 2) co-inviter son épouse Brenda, écrivaine et historienne, afin qu'elle nous parle de son livre, alors en fin de préparation, sur la vie et l'œuvre de Rosalind Franklin (Brenda Maddox, *Rosalind Franklin, The Dark Lady of DNA*, Harper Collins, 2002), de loin la meilleure biographie existante de la grande cristallographe. Rappelez-vous que les images en diffraction X de l'ADN obtenue par Franklin sur l'ADN devaient aider Watson et Crick, de manière décisive, dans leur célèbre découverte de la double hélice en 1953. Cette découverte donna le véritable signal du départ, lent au début, puis de plus en plus accéléré, de la biologie moléculaire. Deux décennies après cet événement capital, Maddox, alors en fonction à *Nature*, déclarait : « *to compare the speed with*

which understanding is being deepened in the life sciences with what happened in physics is probably flattering to physics ! ».

Qu'était-ce donc cette révolution biologique plus importante que la révolution quantique? En tant que physicien de la matière condensée, je voulais bien « mourir idiot » sans connaître la cosmologie inflationniste d'Alan Guth ou les subtilités du boson de Higgs, mais pas sans comprendre au moins l'abc de la biologie et la pensée moderne sur l'origine de la vie. Sur le tard, j'ai donc résolu d'étudier les éléments de la biologie moléculaire à laquelle, après tout, tant de physiciens théoriciens ont contribué avant et après 1953, et particulièrement à la biologie moléculaire structurale. J'ai commencé, évidemment, par quelques-unes des références incontournables, *What is Life ?* de Schrödinger (Cambridge UP, 1944), *The Double Helix* de Watson (Atheneum, 1968), *Le Hasard et la Nécessité* de Monod (Seuil, 1970), *The Eighth Day of Creation* de Horace Freeland Judson (Penguin Books, 1979), *The Origin of Life* de Freeman Dyson (Cambridge UP, 1985) et bon nombre d'autres « lectures apéritives ». Celles-ci furent tellement passionnantes qu'elles m'ont motivé pour aborder quelques gros et bons « textbooks » techniques, ainsi qu'une certaine *Visite Guidée de la Cellule Vivante*, le premier essai semi-populaire de Christian de Duve. Ce premier livre et ses ouvrages ultérieurs que j'attendais avec impatience, au fur et à mesure de leur parution, furent pour moi parmi les plus instructifs.

C'est à la demande de mes confrères, Guy Demortier, Jean Vandenhautte et Dominique Lambert, auteurs de contributions au présent volume, que j'ai accepté de me hasarder à livrer quelques-unes de mes impressions personnelles sur les œuvres grand-public de notre éminent prix Nobel. Je crains que les considérations ci-dessous ne fassent se soulever de nombreux sourcils. Car qui suis-je, un physicien, théoricien de surcroît, pour me permettre de m'exprimer sur l'œuvre de ce géant ? J'avoue bien volontiers que ma culture restée rudimentaire dans les sciences de la vie ne me donne que fort peu de crédit pour cet exercice. Ma seule justification c'est la fascination pour la nature et l'origine de la vie que m'ont communiquée les écrits de C. de Duve où ces questions sont traitées avec une clarté et une lucidité rares.

L'œuvre littéraire de C. de Duve, une demi-douzaine de livres à ce jour, consiste en une longue réflexion, ininterrompue depuis plus de trente ans, sur le thème unique de l'organisation structurale et fonctionnelle de la cellule et

sur les origines et l'évolution de la vie uni- et pluri-cellulaire. « *J'avais tendance à me répéter... jusqu'à utiliser les mêmes mots* », dit-il dans « *Singularités* », un de ses plus récents ouvrages. Les fidèles lecteurs dont je suis se félicitent de cet entêtement à s'attaquer sans répit aux mêmes questions fondamentales : qu'est-ce que la vie et comment a-t-elle pu naître et se développer en partant de la matière inerte ? Si le schéma général reste le même d'un livre à l'autre, les contenus ne sont évidemment pas identiques. Chaque nouvel ouvrage apporte des éclairages différents et de nouveaux développements sur les questions déjà traitées dans les livres précédents, puis aborde des matières de moins en moins techniques, incluant des considérations fascinantes sur les philosophies, sur les religions et même, pour les plus récents écrits, sur l'avenir de l'humanité.

Je prends l'entière responsabilité des naïvetés, voire des erreurs que rencontreront à coup sûr les spécialistes qui pourraient s'aventurer au delà de ce préambule.

Une Visite Guidée de la Cellule Vivante.

L'œuvre écrite de C. de Dube à l'intention d'un large public cultivé a commencé il y a 35 ans, très tôt après le couronnement de sa brillante carrière scientifique par le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1974 pour ses découvertes sur « *l'organisation structurelle et fonctionnelle de la cellule* ». Il semble avoir développé un goût prononcé pour l'écriture de haute vulgarisation avec la rédaction d'un ouvrage général à la portée de tout lecteur scientifiquement instruit, intéressé par l'étude des éléments de biologie cellulaire et moléculaire. Le point de départ pour ce premier livre fut les notes d'une série de conférences prestigieuses qu'il prononça en 1976 devant un grand auditoire de jeunes étudiants à l'Université Rockefeller de New York. La « gestation » de ce premier accouchement prit du temps, car il consacra sept ans à augmenter et à perfectionner ses notes qui furent finalement publiées d'abord en anglais sous le titre *A Guided Tour of the Living Cell* (W.H. Freeman and Company, New York and Oxford, 1984), puis traduites en français dans *Une Visite Guidée de la Cellule Vivante* (De-Boeck-Westmael, Bruxelles, 1987).

Cette « *visite* » qui comporte « seulement » 400 pages, n'est pas un livre de référence exhaustive qui, à lui seul, pourrait servir aux étudiants de premier cycle dans les sciences de la vie. Ce n'est pas non plus une synthèse d'un manuel détaillé de biologie tel que les énormes « *textbooks* » de biologie cellulaire

qui ont fait leur apparition aux Etats-Unis à la même époque, par exemple le splendide « *Molecular Biology of the Cell* » de Bruce Alberts *et al.*, (Garland Publishing Inc., 1983), une « brique » de plus de mille pages aux éditions successives de plus en plus volumineuses. Le livre consiste plutôt en une présentation originale, souvent inspirée des recherches personnelles de l'auteur, sous la forme de trois « itinéraires de visite » : 1) l'anatomie des structures cellulaires, 2) des éléments de biochimie du métabolisme cytoplasmique et 3) les constituants et fonctions du noyau cellulaire eucaryote. La matière et le mode de présentation sont bien adaptés pour une première introduction quantitative à la biologie, par exemple pour des étudiants des sciences dites exactes, mathématique, physique, chimie ou ingénierie. Les discussions quelquefois hautement techniques des aspects biochimiques et bioénergétiques (deuxième itinéraire et appendices), une des spécialités de l'auteur, sont parfaitement abordables pour cette classe d'étudiants. Ce que ce premier ouvrage de C. de Duve partage certainement avec les gros traités introductifs américains, c'est la continuité logique de l'exposé des faits et des concepts, la haute qualité didactique de la présentation, l'abondance et le soin extrême des illustrations, en particulier celles obtenues en microscopie électronique développée par ses co-lauréats Nobel, Albert Claude et Georges Palade. *La Visite Guidée* est une porte d'entrée idéale pour le lecteur curieux qui souhaite acquérir une formation rapide sur les fondements moléculaires et cellulaires de la biologie moderne.

Construire une Cellule

Dans son deuxième livre, (*Construire une Cellule*, Essai sur la Nature et l'Origine de la Vie, De Boeck-Westmael, 1990 ; Edition en anglais : *Blueprint for a Cell*, Burlington, NC : Neil Patterson Publishers, 1991), C. de Duve aborde le problème des origines. Dans une première partie, il récapitule l'essentiel de la composition et du fonctionnement biochimique des cellules procaryotes et eucaryotes et consacre un chapitre aux caractéristiques probables de l'hypothétique « cellule ancestrale » (le DACU, le dernier ancêtre commun universel, l'unique ancêtre de tous les êtres vivants actuels). Dans la deuxième partie, il entreprend la construction de modèles biochimiques des épisodes successifs probables de l'histoire du vivant, partant de matériaux inorga-

niques¹ et aboutissant au DACU. Cette longue évolution de trois milliards d'années a comporté de nombreuses étapes de complexification décrites tour à tour, le monde du thioester qui est une proposition propre à l'auteur, le protométabolisme, l'avènement de l'information, le monde de l'ARN, la formation des premiers gènes, la traduction et le code génétique, le développement de membranes de cellularisation, l'avènement de l'ADN, etc... Tout ceci est souvent expliqué avec force schémas et équations de réactions chimiques, en sorte que le lecteur non spécialisé doit quelquefois s'accrocher pour ne pas perdre pied. Au besoin, la lecture en est facilitée par des recours aux informations techniques de la *Visite Guidée*.

Un dernier chapitre de *Construire une Cellule* pose déjà la question des rôles relatifs du déterminisme chimique strict, d'une part, et du hasard de la contingence historique, d'autre part, aux différentes étapes de l'apparition de la vie sur terre. Ce thème, qui n'est que brièvement esquissé ici, sera repris plus en détails dans ses ouvrages ultérieurs. Comme il s'agit d'une préoccupation majeure et constante dans l'œuvre de C. de Duve, je souhaite décrire dès à présent ce que j'ai cru comprendre de son point de vue à propos de cette question. De toute évidence, la dichotomie hasard-déterminisme est au centre de notre compréhension des origines et, tant qu'elle ne sera pas résolue par la science, elle restera à la base de la plus grande des préoccupations métaphysiques humaines : la vie sur terre est-elle totalement accidentelle ou bien est-elle répandue dans le cosmos? Sommes-nous seuls dans l'univers ou bien la vie et l'intelligence y sont elles endémiques ?

1. de Duve commence par décrire ce qui constitua en 1953, la glorieuse année de la double hélice, une autre « bombe conceptuelle », celle engendrée par la première synthèse abiotique d'acides aminés, par Stanley Miller, dans des conditions physico-chimiques prébiotiques d'un modèle d'atmosphère primitive. En raison de son impact idéologique immense sur les conceptions biochimiques de l'origine de la vie sur terre, cette expérience historique continue de fasciner les générations d'étudiants en biologie. Récemment, j'ai pu organiser la reproduction de l'expérience originale de Miller à l'Université de Namur à l'occasion d'une conférence internationale intitulée « What is Life ? » et où le Professeur de Duve prononça un de ses plus brillants discours publics. Il s'avère que la formation de certaines « briques » de la vie, particulièrement quelques-uns des acides aminés, se produit avec une facilité déconcertante dans une large variété de modèles d'atmosphère. Cette facilité rappelle celle des lasers : au début, très peu de matériaux pouvaient être persuadés d'émettre un rayonnement cohérent ; et maintenant tout peut « laser », même la « jello » (dixit Arthur Shallow, l'inventeur du laser à rubis).

L'évangile de l'inévitabilité

C. de Duve est de ce dernier avis. Il commence par affirmer la nécessité absolue à la base des événements purement chimiques initiaux¹. La chimie est déterministe, rappelle-t-il. Mélanger les réactifs A et B dans des conditions adéquates donnera toujours le produit C, de manière indéfiniment reproductible. Il se déclare convaincu d'un déterminisme substantiel pour les événements biochimiques conduisant au DACU et même pour les innovations ultérieures jusqu'à l'émergence des organismes énormément plus complexes que sont les eucaryotes. Il insiste sur le *caractère contraint du hasard* dans ses effets sur les événements évolutifs dès l'avènement d'espèces moléculaires répliquatives. Il affirme que « *le processus biogénique... a exigé un nombre considérable d'étapes, dont la plupart devaient **obligatoirement** se produire dans les conditions qui régnaient* ».

Mais qu'est-ce donc qui muselait le hasard et imposait cette quasi-obligation ? Le rôle du hasard fut limité par deux facteurs. D'une part, par les conditions spéciales de la biosphère qui régnaient à l'étape considérée, c'est-à-dire les organismes existants et leur environnement spécifique, ce qu'on appelle aujourd'hui l'écosystème. D'autre part, et ceci est le point essentiel, l'effet du hasard fut canalisé par ce que C. de Duve appelle le *principe de modularité* des structures et des fonctions associées des organismes. Ces modules sont les briques de base strictement invariantes (acides aminés, acides nucléiques, acides gras, sucres, etc...), les structures quasi-invariantes, évolutives (les séquences protéiques et nucléiques, les enzymes, les premiers gènes, les membranes, etc...) ainsi que les fonctions assurées par toutes ces structures. Les mêmes modules sont conservés, réutilisés, modifiés, adaptés par tous les organismes et à toutes les étapes du processus évolutif dès l'apparition des premiers biopolymères auto-répliquatifs. Pour reprendre le vocabulaire informatique quelque peu réducteur utilisé par Dyson, le « hardware » (les protéines) et le « software » (les acides nucléiques) ainsi que le code génétique sont universels, communs à tous les êtres vivants. La vie, répète C. de Duve à la fin du livre, serait « *une manifestation obligatoire des propriétés combinatoires de la matière* », sous-entendu : dès lors que les combinaisons – loin d'être arbitraires et chaotiques – s'organisent biochimiquement et automatiquement en modules fonctionnels constamment renouvelés, perfectionnés, réutilisés.

Lorsqu'il envisage l'évolution ultérieure des organismes multicellulaires et finalement l'émergence de l'homme et de son intelligence, C. de Duve

prévient que, même pour ces événements, sur lesquels il s'étendra longuement dans ses écrits ultérieurs, il continue de croire en un rôle contraint du hasard (à l'exception évidemment du hasard des grandes catastrophes naturelles fortuites que rien ne peut contraindre et qui sont capables d'altérer drastiquement la biosphère, comme celles qui ont entraîné plusieurs extinctions massives). En d'autres termes, si le temps était remonté à 4,7 milliards d'années, « *si la bande était rejouée* » dans des conditions identiques, pour reprendre l'analogie imagée de Stephen J. Gould (*Wonderful Life*, Penguin Books, 1989), il est hautement probable, selon C. de Duve, que des organismes monocellulaires et pluricellulaires similaires à ceux que nous connaissons surgiraient à nouveau dans le courant du processus d'évolution. L'implication cosmique de cette conviction est que la vie doit être endémique dans tout l'Univers. C'est *l'impératif cosmique*² dont C. de Duve parle fréquemment (« *Life and mind appear as cosmic imperatives, written in the fabric of the universe* » ; dans *The constraints of Chance*, Scientific American, Janvier 1996, p.112), même en sous-titre d'un de ses livres (*Vital Dust*). C'est *l'évangile de l'inévitabilité* ironisent ses détracteurs.

2. Il est intéressant de comparer les prédictions de Monod et de C. de Duve du point de vue de la formule de Frank Drake qui permet d'évaluer le nombre N de civilisations capables de communiquer entre elles dans notre Galaxie. La célèbre formule, tout à fait empirique, comporte 7 facteurs : $N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$. R , est le taux moyen de formation d'étoiles similaires à notre soleil ; f_p la fraction de telles étoiles accompagnées de planètes ; n_e le nombre moyen de planètes du type terre dans chaque système planétaire ; f_i la fraction de planètes avec présence de vie ; f_c la fraction de planètes avec vie intelligente ; L la durée moyenne de survie d'une telle civilisation. Selon l'évangile de la contingence le résultat est très simple : $N = 0$ car $f_i \cdot f_c \approx 0$ en vertu du credo de Monod ! L'évangile de l'inévitabilité de C. de Duve réduit considérablement la formule: $N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot L$, car $f_i \cdot f_c \approx 1$ en vertu de l'impératif cosmique. A un ou deux ordres de grandeurs près, on peut raisonnablement estimer $R \approx 5/\text{an}$ (correspondant à 50 milliards d'étoiles type soleil sur 10 milliards d'années, la vie de la Galaxie) ; $f_p \approx 1$ (toutes les étoiles voisines du soleil ont des planètes) ; $n_e \approx 10^3$, (une estimation probablement pessimiste ; le satellite Kepler, lancé en 2009, devrait bientôt nous renseigner sur une valeur réaliste de ce paramètre) ; le paramètre L est le plus difficile à estimer. Une valeur raisonnable mais pessimiste pourrait être $L \approx 10^4$ ans, tandis qu'une valeur très optimiste serait $L \approx 10^9$ ans, dépendant de la « sagesse » d'*Homo sapiens*. Donc selon C. de Duve, il y aurait entre quelques voisins galactiques et quelques millions. Un article intéressant de Paul Davies sur ce sujet et sur les chances du programme SETI (Search for Extra Terrestrial Intelligence) a récemment paru dans *Physics World*, 23, p.28 (2010).

L'évangile de la contingence

Dans cette expérience hypothétique de Gould, la véritable question est de savoir quel serait le degré de similarité entre les espèces observées dans les deux passages de la bande? En gros, d'après C. de Duve, cette similarité serait élevée tandis que d'après Gould, il n'y en aurait aucune ! Si, dans une première histoire de la vie, dit Gould, A-B-C-D représente une série d'évènements biogéniques donnant lieu à une lignée phylogénétique d'organismes, rejouer cette histoire en partant de A (toutes autres choses étant supposées initialement égales) produirait une séquence historique A-B'-C''-D''' de plus en plus divergente aboutissant à D''' massivement différent de D. Tout changement important à n'importe quel endroit de la séquence des états antécédents altère l'état final de manière à le rendre méconnaissable. Dans la sphère littéraire, un exemple d'historicité absolue constitue le thème d'une fiction à succès d'Eric Emmanuel Schmitt, (*La Part de l'Autre*, Albin Michel, 2001) : le jour se lève sur Vienne (événement A), un examinateur de l'école d'architecture est d'humeur massacrate (B) ou au contraire est de bonne humeur (B'), l'étudiant Adolf Hitler échoue à son examen d'entrée (C) ou réussit (C''), la seconde guerre mondiale a lieu (D) ou n'a pas lieu (D'''). Selon Gould, l'extrême historicité ou la contingence absolue à tous les stades de la naissance et de l'évolution de la vie serait de ce type-là. Autrement dit, à partir de la terre prébiotique, ou même à partir de la protocellule, la probabilité a priori d'apparition de n'importe quel type d'organismes vivants est infinitésimale. C. de Duve appellera cette façon de voir, tout aussi ironiquement, *l'évangile de la contingence* !

Le credo de Monod

Le point de vue de la contingence, dont Gould est un des défenseurs les plus proéminents, est adopté par bon nombre de biologistes et non des moindres, particulièrement par cet autre biochimiste et biologiste moléculaire éminent, Jacques Monod. Dans son beau livre *Le Hasard et la Nécessité* (Seuil, 1970), Monod énonce une espèce de principe anti-anthropique que j'appellerai son **credo** et sur lequel C. de Duve revient constamment pour le critiquer, à savoir que « *L'Univers n'était pas gros de la vie, ni la biosphère de l'Homme* ». Autrement dit, les **chances** a priori d'apparition de la vie et de l'homme étaient quasi nulles. À la fin de *Construire une Cellule*, C. de Duve s'oppose catégoriquement à cette affirmation. Elle équivaut, selon lui, à considérer l'émergence

de la vie, celle de l'espèce humaine, et d'ailleurs celle de n'importe quelle autre espèce d'organismes vivants, à autant de miracles créationnistes. Dès 1972 il exprimait déjà avec force son opposition au credo de Monod, dans une critique admirable de son livre (*Les contraintes du hasard*, La Revue Générale, Février 1972, p. 22-42). Dans cette critique on peut déjà lire tous les arguments qu'il ne cessera de développer dans la suite de son oeuvre. Car, dit-il, si leur probabilité a priori est évanescence, toutes les espèces d'organismes tant soit peu complexes ont dû être créées *ex nihilo* par un Créateur. Et puisque des organismes extrêmement complexes existent manifestement sur cette terre, il s'ensuit qu'ils n'existent nulle part ailleurs dans l'Univers², ce qu'affirme Monod, à moins qu'ils n'y soient recréés répétitivement par le même Créateur, ce qu'exclut Monod.

Comment deux biochimistes de cette incomparable stature et par ailleurs de convictions philosophiques assez similaires, ont-ils pu se forger des avis diamétralement opposés sur une question aussi fondamentale que le rôle du hasard et du déterminisme sur l'évolution²? Pour l'humble lecteur que je suis, après relecture des écrits de ces deux géants, je suggère que ce désaccord pourrait être le résultat d'une incohérence logique chez Monod à l'intérieur de son livre, peut-être même à l'intérieur de sa pensée. Indépendamment de ce que sa position, s'agissant de l'espèce humaine, représente un résidu d'anthropocentrisme extrême (l'homme, seule espèce intelligente dans l'univers !), elle me paraît le résultat d'une inconsistance logique, elle-même causée par une dérive d'ordre littéraire et philosophique, comme j'essayerai d'argumenter plus loin.

Téléonomie et Modularité

C. de Duve et Monod s'accordent sur plus de points que ne le laissent supposer leurs évangiles divergents. *La manifestation obligatoire* dont parle C. de Duve équivaut, en fait, à la *nécessité* que Monod oppose au hasard dans le titre même de son livre célèbre. En effet, Monod identifie cette nécessité, à longueur de pages, à l'efficacité automatique et déterministe, d'ordre « cybernétique » dit-il, de ce qu'il appelle *l'appareil téléonomique* de la cellule et de tous les organismes vivants. C. de Duve, lui, parle de *modularité*. Le mot téléonomie chez Monod n'a pas l'acception courante du dictionnaire : « *caractère de la nature vivante, en tant que résultat d'une finalité* » dit le *Petit Larousse Illustré*. Malgré son choix malheureux de cette dénomination ambiguë, Mo-

nod n'est pas finaliste du tout au sens habituel du mot, c'est-à-dire croyant en une finalité cognitive extrinsèque aux organismes. Pour lui, conformément au darwinisme orthodoxe, la téléonomie c'est l'ensemble des caractères, **apparemment** finalistes mais exclusivement endogènes, que sont toutes les structures et fonctions quasi-invariantes des êtres vivants. Ces caractères se sont progressivement accumulés, perfectionnés ou diversifiés, par le processus de variation-sélection agissant sur les performances des organismes mesurées via leur capacité de survie et de reproduction. La *téléonomie* c'est le *design sans designer*, sans les « sky hooks » animistes que dénonce Dennett (*Darwin's Dangerous Idea*, Daniel C. Dennett, Penguin Books, 1996)³.

Quelques exemples permettront de mieux saisir le concept. Au niveau moléculaire, la téléonomie, c'est le « design » des enzymes allostériques du système lactose élucidé par Monod, et ses co-lauréats Nobel Jacob et Lwoff ; c'est la structure et le fonctionnement merveilleux, patiemment découverts par Max Perutz, du « poumon moléculaire » qu'est l'hémoglobine. Au niveau mésoscopique, c'est la chorégraphie fascinante de la cybernétique cellulaire lors de la métaphase mitotique décrite dans *Une Visite Guidée*. Au niveau macroscopique, c'est le développement « miraculeux » de l'embryon ; c'est le développement « robotique » invariant de la lignée des 959 cellules somatiques du vers hermaphrodite *c. elegans* ou de la chrysalide, le parachute poétique de la graine de pissenlit ou la sophistication aéronautique sublime de l'aile d'oiseau. Selon l'interprétation néo-darwinienne, tous ces caractères et fonctionnements routiniers, invariablement reproduits furent progressivement construits par variation-sélection au cours de l'évolution et incorporés dans les génomes des êtres vivants. C. de Duve souscrit entièrement à ce concept essentiel de téléonomie de Monod qu'il identifie, lui, sans le nommer ainsi, au

3. L'opposition des vues « matérialiste » et « spiritualiste » de l'évolution constitue le thème central de ce livre du philosophe américain Daniel Dennett. Pour décrire les mécanismes fondamentaux de l'évolution des espèces vers la diversité et la complexité selon ces deux points de vue, Dennett fait appel à une analogie d'ingénierie pour la construction d'un édifice en évoquant les « cranes » et les « sky hooks ». Les « cranes » (grues) sont des échafaudages ou des engins de levage prenant appui sur le sol et assemblés à l'intérieur même de la construction pour élever celle-ci vers la complexité. Les « sky hooks » (grappins célestes) sont des crochets extérieurs au système, arrimés à la voûte céleste pour effectuer cette fonction de traction vers le haut. En fait les « cranes » de Dennett coïncident avec l'appareil téléonomique-modulaire de Monod-C. de Duve, tandis que les « sky hooks » sont des instruments créationnistes.

principe mentionné plus haut d'«*assemblage modulaire* » des structures et des fonctionnements des êtres vivants.

Si le mot *téléonomie* vous paraît, comme à moi, de nature à provoquer la confusion, le biologiste écrivain Matt Ridley (*The Agile Gene*, Harper Collins, 2003), exerçant sa propre ironie grinçante, en utilise un autre encore plus ambigu mais qui a le mérite de souligner la toute-puissance du principe d'auto-organisation téléonomique : *the Genome Organising Device* (GOD, le système génomique organisateur).

Monod insiste sur le fait que cette téléonomie omniprésente et manifeste dans l'unicité des structures et des fonctions modulaires de l'entièreté de la biosphère (« *ce qui vaut pour une bactérie E. coli est vrai pour l'éléphant* », disait-il), est en fait une des caractéristiques primordiales que réclame *la définition même de la vie*, quel que soit son degré de sophistication. Les deux autres caractéristiques de la vie que cite Monod, « la morphogenèse autonome » et « l'invariance reproductive », peuvent être considérées ainsi que les exemples mentionnés ci-dessus l'illustrent, comme deux aspects particuliers du fonctionnement téléonomique général du vivant.

La Grand-Messe Darwinienne

La téléonomie confère, à tous les stades de l'évolution, la « *grande illusion* » de l'existence d'un « *projet* », d'un « *plan initial* », d'une « *finalité terminale* », d'un « *pré-concepteur* » : l'ATP est conçu *pour* fournir l'énergie, l'ADN *pour* stocker l'information, le ribosome *pour* traduire, le flagelle *pour* avancer, l'œil *pour* voir, l'aile *pour* voler. Toutes ces explications téléonomiques du vivant, tous ces « *pour* » suggèrent et perpétuent l'impression d'intentionnalité sous-jacente que réclament les caractéristique des philosophies animistes et les religions. Selon Dennett, cette « *grande illusion* » est battue en brèche, sinon définitivement détruite par l'« *idée dangereuse de Darwin* ». D'après le darwinisme, il n'y a, dans le déroulement de l'évolution, ni rêve ancestral ni designer intelligent ni architecte ni horloger, seulement de la complexification et diversification automatiques du couple génotype-phénotype par variation-sélection adaptative. Par accumulation de structures et fonctions modulaires sélectionnées, conservées ou perfectionnées, le vivant évolue de manière essentiellement *irréversible*, insiste Monod, à la manière du mouvement d'une roue à rochet, chaque avancée étant inévitablement unidirectionnelle, vers la complexification et la diversification adaptatives. C. de Duve est sûrement

d'accord sur cette irréversibilité. Les deux auteurs s'accordent aussi, avec d'ailleurs la plupart des biologistes, pour reconnaître que le hasard essentiel, non contraint, ne s'exerce qu'au niveau des modifications microscopiques des génomes (les mutations) ainsi qu'au cours des changements importants, soudains, rapides ou lents, de la biosphère tels que la chute d'astéroïdes, les changements de climat, la dérive des continents, etc.... Et ces changements aléatoires interviennent de manière totalement aveugle, sans aucune anticipation ou finalité sur les phénotypes des organismes. Il n'y a dans l'évolution ni prévision ni retour en arrière ! Les deux éminents biologistes me semblent donc d'accord sur tous ces points essentiels de la *Grand-Messe (néo-)Darwinienne*.

Imprévisibilité de la vie

Dès lors, où se trouve, dans le livre de Monod, l'origine de la divergence des deux évangiles ? La dérive me paraît commencer avec l'affirmation, dès le début du livre, que « *les êtres vivants, en tant que classe d'objets, ne sont pas **prévisibles** à partir des premiers principes* ». Les premiers principes sont ceux de la physique et de la chimie. La vie n'est pas prévisible signifie que son avènement spontané n'est pas calculable ou modélisable sur les bases physico-chimiques de la science humaine. Notons en passant que ce type d'imprévisibilité de la vie implique aussi qu'elle ne pourra jamais être recréée en laboratoire, même sous forme rudimentaire, à partir des éléments du tableau périodique ou même à partir des « briques » biochimiques de base. Beaucoup de biologistes d'aujourd'hui se garderaient bien de se rallier à cette conjecture alors que plusieurs laboratoires progressent à grands pas dans leur tentatives de recréer de la vie en éprouvette ! Dans l'affirmation de Monod, il s'agit bien de **la classe** d'objets, pas des individus particuliers eux-mêmes qui sont et resteront en effet totalement imprévisibles. Cependant, compte tenu de son credo et des idées que Monod se prépare à exprimer dans la suite de son livre, l'imprévisibilité initiale dont il parle ici possède une autre signification dans son esprit : c'est la même imprévisibilité que celle d'un numéro particulier qui sortira d'un tirage du loto, c'est à dire **l'improbabilité d'occurrence** ; la vie avait une probabilité a priori infinitésimale d'émerger affirmera-t-il plus loin. Autrement dit la classe des protéines et des enzymes, la classe des acides nucléiques, des protistes, des individus d'une espèce quelconque et finalement la classe toute entière des êtres vivants sont des catégories totalement contingentes, « imprévisibles », ou de probabilité d'occurrence évanescence, dès lors

qu'elles sont envisagées seulement comme des assemblages d'atomes et de molécules en structures et fonctions spécifiques à chacune des classes.

Improbabilité de la vie

Pour illustrer une imprévisibilité-improbabilité insondable de ce type, Fred Hoyle, le physicien théoricien responsable de la dénomination « Big Bang » pour l'origine de l'univers et partisan de l'évangile de la contingence, propose la parabole du Boeing 747 : « *la formation **spontanée, par chance**, dit-il, d'une enzyme en état de fonctionner est comme une tornade qui, s'abattant sur un immense tas de ferrailles, produirait l'assemblage **spontané** d'un Boeing 747* ». Mais aucune personne sensée n'a jamais envisagé la formation d'une enzyme, a fortiori celle d'un être vivant, comme un phénomène spontané, par chance à partir des éléments C, H, N, O, ... , ou même à partir de briques biochimiques de base. Richard Dawkins (*Climbing Mount Improbable*, Penguin Books, 1997) commente ainsi cette conception erronée de l'évolution du vivant que la parabole de Hoyle donne à entendre : « *le Darwinisme n'est pas une théorie des chances aléatoires. C'est une théorie des **mutations** aléatoires **plus la sélection naturelle cumulative et non aléatoire*** ». Monod aurait certainement souscrit à cette description du Darwinisme car le « cumulatif » et le « non aléatoire » sont des propriétés implicites qui découlent de son concept de téléonomie. Elle doit plaire tout autant à C. de Duve car elle penche clairement dans le sens de l'évangile de l'inévitabilité. Dans un autre de ses livres (« *The Blind Watchmaker* », Longmans, London 1986), le même Dawkins fait cette remarque ironique mais pénétrante pour le présent propos : « *il y a énormément plus de manières d'être mort que d'être vivant* ». C'est exactement cela que la parabole du Boeing 747 vient simplifier. Si l'on s'en tient à la seule mécanique statistique, il est en effet bien clair que la configuration particulière d'atomes ou groupes d'atomes adoptée par toute classe d'objets tant soit peu complexes comme les enzymes, a fortiori par toute espèce d'êtres vivants, possède un poids évanescant dans l'immensité des configurations microscopiques possibles ou des « complexions », comme disait Boltzmann, de ces mêmes groupes d'atomes. A la fin du chapitre, Monod parle encore, en termes grandioses⁴ d'ailleurs, de l'extrême contingence, c'est-à-dire de l'extrême improbabilité de l'avènement de l'humanité pensante. Ici la nécessité téléono-

4. « ... Toutes les religions, presque toutes les philosophies, une partie même de la science, témoignent de l'inlassable, héroïque effort de l'humanité niant désespérément sa propre contingence ». On croirait lire un passage de *L'Homme Révolté* de Camus.

mique introduite précédemment avec tant de clarté par Monod est étrangement évacuée. Où est passée la complexification progressive intermédiaire entre les molécules isolées et la cellule, entre la cellule et un mammifère quelconque, entre l'instinct et l'intelligence réflexive? Si au contraire la téléonomie est incluse dans les « premiers principes », alors, et c'est le point de vue défendu par C. de Duve, la vie en tant que *classe* de tous les êtres vivants et mêmes les *classes* différenciées d'organismes apparentés, y compris une classe d'êtres intelligents, deviennent des produits hautement probables sinon inévitables de l'évolution.

Hasard contraint

Plus loin dans son livre, Monod reconnaît que « *le système téléonomique n'a retenu, amplifié, intégré qu'une infime fraction des chances offertes, en nombre astronomique, par la roulette de la nature* ». La roulette, ce sont les fluctuations aléatoires microscopiques des génomes ou macroscopiques des écosystèmes. Ici, Monod exprime l'efficacité du filtre téléonomique tel que, explorant le vaste champ des mutations possibles, l'évolution ne sélectionne qu'une infime minorité de ces mutations, celles qui maintiennent la vie sous sa forme déjà existante, l'adaptent ou l'améliorent, ce qui donne au développement de la lignée l'allure robuste d'une trajectoire continue et déterministe. Autrement dit, le hasard est, la plupart du temps, inopérant. Ici, Monod semble clairement rejoindre C. de Duve dans l'idée d'un hasard contraint.

Improbabilité bis

Mais un peu plus loin, à la page fatidique où il va énoncer son credo, il écarte à nouveau la nécessité téléonomique pour s'en remettre au hasard essentiel, lorsqu'il affirme « *Si l'avènement de l'émergence de l'Homme fut unique, comme peut-être le fut l'apparition de la vie elle-même, c'est qu'avant de paraître, ses chances étaient quasi nulles ... Notre numéro est sorti au jeu de Monte-Carlo* ». Cette citation me paraît confirmer que l'imprévisibilité de la vie discutée plus haut signifie bel et bien, dans l'esprit de Monod, son improbabilité. Etrange renoncement au principe de téléonomie sans lequel l'évaluation des probabilités *a priori* des êtres vivants et de leur destin évolutif ne signifie pas grand-chose. L'apparition de la vie et celle de l'homme ne sont pas des événements sortis d'un seul tirage à Monte-Carlo, mais d'un nombre énorme d'essais avec, en outre, une roulette progressivement déformée et transformée en

entonnait par la téléonomie. Envisager l'émergence de la vie et de l'homme comme infiniment que peu probable *a priori* revient finalement à oublier purement et simplement l'évolution darwinienne commence à opérer dès l'apparition d'espèces moléculaires répliquatives. En paraphrasant la citation précédente pour l'appliquer à une invention humaine, on obtient l'absurdité suivante : « *Si l'avènement de l'émergence de l'aviation fut unique, comme peut-être le fut l'apparition de la locomotion artificielle, c'est qu'avant de paraître, ses chances étaient quasi nulles* ». C'est bien là le sens que la parabole du Boeing 747 est censée exprimer. Au contraire les chances de l'aviation étaient de 100% dès lors qu'on la considère comme l'étape ultime d'une série de faits antérieurs, la maîtrise du feu, l'invention de la roue, la vis d'Archimède, les lois de Newton, le moteur à explosion, l'électricité, le planeur des frères Wright, etc.... Que cette séquence d'événements et les myriades de progrès intermédiaires ne fussent pas « prévisibles » *a priori* ne signifie nullement que la probabilité de l'aviation était infinitésimale.

La Dérive

Alors le credo de Monod, formulé comme il l'est de manière inconditionnelle, constitue-t-il une profonde erreur scientifique, une incohérence logique, une forme d'exaltation littéraire ou une concession inconsidérée à autre chose, peut-être à un fort courant d'idées politiques ou philosophiques de son temps ? Je suis porté à croire, quant à moi, qu'il s'agit en effet d'un « égarement » philosophique de la part d'un homme qui, en dépit de sa suprême intelligence, n'a pas toujours su ou voulu résister à l'influence de certaines idées de ses contemporains. On sait que Monod, comme beaucoup de penseurs d'après la seconde guerre mondiale, a subi l'énorme influence d'Albert Camus dont il admirait l'œuvre philosophique et littéraire, laquelle gravite entièrement autour de l'absurdité existentielle humaine ou, si vous préférez, l'existentialisme de l'absurde. Le style de Monod, par ailleurs admirable, prend souvent de forts accents camusiens⁵. Je relève également, pour ce que cela vaut, un passage apparemment banal mais significatif dans son livre. Afin de faire com-

5. Le livre magnifique de Monod se termine par les phrases admirables, aux accents camusiens, « *L'ancienne alliance est rompue ; l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'univers d'où il a émergé par hasard. Non plus que son destin, son devoir n'est écrit nulle part. A lui de choisir entre le Royaume et les ténèbres* ». Le Royaume transcendant des idées et de l'éthique scientifique créé par l'homme lui-même, ou les ténèbres de l'animisme et du finalisme.

prendre le hasard « essentiel » impliqué dans les mutations génétiques et l'imprévisibilité absolue de leurs conséquences sur les phénotypes, Monod invente une petite histoire : le médecin Dupont appelé en consultation dans le quartier, se fait fracasser le crâne et décède au pied d'un immeuble suite à la chute d'un marteau lâché par inadvertance par le plombier occupé à réparer la toiture. Le médecin-philosophe Marc Oraison (*Le Hasard et la Vie*, Seuil, 1971), grand amateur de la psychanalyse freudienne, suggère que, d'après lui, Monod n'aime pas beaucoup les médecins (il n'appartenait pas à leur confrérie) et leur veut « inconsciemment » du mal. Je note quant à moi que le scénario lui-même est typiquement camusien : l'incident dont le docteur Dupont est victime est tout aussi tragiquement « absurde » que la terrible méprise psychologique de la pièce de théâtre, *Le Malentendu*, de Camus ou bien que le coup de revolver arbitraire de Meursault sur la plage ensoleillée dans *L'étranger*. La mort de Dupont est la conséquence du croisement, de probabilité infinitésimale, entre deux séries d'événements totalement indépendants. La destruction des dinosaures par la chute d'un astéroïde est de cet ordre là. C'est la réussite ou l'échec de Hitler à son examen d'architecture selon l'humeur arbitraire du professeur.

Mais ce n'est pas ce type de mécanisme aléatoire infiniment peu probable d'un événement unique et fortuit qui entre en jeu dans la lente et nécessaire apparition d'une forme de vie, comme semble l'affirmer l'évangile de la contingence. Dès lors, le credo de Monod de l'improbabilité *a priori* de la vie et de la « *tragique solitude* » de l'homme dans l'univers ne correspondrait-il pas à une tendance de sa part, probablement inconsciente suggérerait Oraison, à se rallier, par le recours inconsidéré à un argument statistique illégitime, à la philosophie du grand maître à penser ? C'est peut-être une spéculation saugrenue mais je ne m'explique pas autrement l'origine de cette inconsistance de Monod sur les rôles du hasard essentiel et de la nécessité téléonomique entre lesquels il oscille à plusieurs reprises dans son livre. Quoi qu'il en soit, pour Camus, c'est l'absurdité de la mort et des malheurs de l'homme - qu'ils soient auto-infligés ou conséquences d'événements fortuits - qui le lamentent et le révoltent. Je note que ce grand écrivain-philosophe (victime à son tour de l'absurde et tragique contingence), déjà disparu à la sortie du livre de Monod, serait probablement resté indifférent, le cas échéant, au ralliement à sa philosophie de la part de l'éminent homme de science, car il était insensible à l'argumentation scientifique. Il n'y a en effet aucune place dans l'œuvre de Camus pour des considérations darwiniennes sur l'évolution du genre *Homo*. Camus

ne pouvait ni ne voulait être distrait par de telles considérations qui risquaient de mettre en cause, en les rendant non pertinents, les fondements de son propre credo de l'absurdité révoltante de la condition humaine.

Poussière de Vie

Dans son troisième ouvrage, *Poussière de Vie* (Fayard, 1996. Version anglaise : *Vital Dust, Life as a Cosmic Imperative*, Basic Books, 1995), C. de Duve commence par annoncer « j'ai osé m'aventurer au delà des limites de ma compétence... afin de contempler le panorama général ». Il souhaite s'affranchir de la spécialisation excessive de la recherche en faisant remarquer que l'exercice actif et exclusif de la science spécialisée tend à rétrécir l'esprit ! Et pour la vaste majorité de ses lecteurs, c'est un bonheur qu'il ait osé prendre le risque de s'absenter quelque peu de son laboratoire ! Car dans ce livre, il donne une description majestueuse et magistrale de la « progression » de la vie. La description est organisée de nouveau selon une série d'étapes de complexification ou « âges » successifs : l'âge de la chimie, de l'information, de la protocellule (et le DACU), des protistes, des organismes multicellulaires, de l'homme et de son esprit et finalement l'âge de l'inconnu (le futur). Cette version, peut-être la plus complète de la pensée de C. de Duve, est accessible à toute personne spécialisée ou non. Ici en effet, toute équation chimique a disparu pour ne laisser que la trame conceptuelle de sa description précédente (*Construire une Cellule*) de l'évolution probable du vivant jusqu'au DACU, suivie de considérations nouvelles sur l'avènement et l'évolution ultérieure du monde végétal et animal, jusqu'au cerveau humain y compris. « Ce livre s'adresse à tout le monde ! » dit-il dans sa préface. Peut-être pas à certains philosophes qui pourront se trouver mal à l'aise à la lecture des chapitres consacrés à « l'âge de l'esprit ». C. de Duve, tout en prenant la précaution oratoire de se caractériser lui-même de « philosophiquement illettré », fait néanmoins une critique personnelle très documentée des concepts de conscience, de liberté, de valeurs éthiques et culturelles, etc.... Le discours a le mérite d'être clair pour la grande majorité des lecteurs et les références à de « vrais » philosophes sont abondantes. Dans tout le livre, y compris dans la partie sur l'émergence de l'esprit, C. de Duve prévient qu'il rejette trois des « ismes » parmi les plus tendancieux de la philosophie : le vitalisme (la vie, c'est de la matière animée par un esprit ou « élan » vital), le finalisme (l'évolution biologique suit un « projet ») et le créationnisme ou sa version « light », *l'intelligent design* (l'in-

tervention d'un architecte intelligent à tous les stades de l'évolution non encore élucidés en termes scientifiques). Seules les lois naturelles physico-chimiques sont à la barre, dit C. de Duve ! Comme pour Monod, il n'y pas d'élan vital, pas de projet, pas d'architecte extrinsèques. Voilà prévenus ceux qui chercheront dans « *Poussière de Vie* » et dans les autres livres de C. de Duve une résonance quelconque avec leurs éventuels pré-positionnements métaphysiques ou religieux. Enfin dans la dernière partie, C. de Duve aborde un thème qu'il développera d'avantage dans son ouvrage le plus récent (« *Génétique du péché originel* »). Il laisse entrevoir que dans les derniers millénaires, siècles et décennies de l'histoire de l'homme, « *la sélection naturelle a déraillé* » ! L'avènement de l'esprit (the mind) chez *Homo sapiens* a abouti au succès exponentiel de l'espèce et finalement à l'explosion démographique actuelle, cause première des nombreux maux que C. de Duve énumère. Les produits de cette mesure, nuisibles à la biosphère, sont en train de provoquer une extinction précipitée des autres espèces et, si rien n'est fait, entraîneront le déclin et probablement la disparition tout aussi rapide de l'humanité elle-même. « *Nous devons apprendre à penser biologiquement* », dit-il à la fin, c'est-à-dire scientifiquement. Car « *la science est notre meilleure chance de résoudre nos problèmes actuels et futurs* ». C. de Duve rejoint ainsi Monod qui, déjà en 1970, avant la prise de conscience écologique généralisée d'aujourd'hui, ne voyait aucun futur à l'humanité en dehors du perfectionnement d'une « *éthique de la connaissance ou éthique scientifique* » .

À l'Écoute du Vivant

Dans son ouvrage suivant, *A l'Écoute du Vivant* (Odile Jacob, 2002), C. de Duve utilise un langage encore moins technique pour recycler les questions déjà abordées dans ses écrits précédents, puis il approfondit des positions plus personnelles concernant les grandes questions philosophiques et religieuses greffées sur les sciences du vivant. C'est à mon goût le livre le plus attachant de C. de Duve et celui qui, jusqu'ici, a rencontré le plus grand succès de librairie. C'est pourquoi nous entrerons dans un peu plus de détails dans la description de son contenu.

Les chapitres 1 à 10 reprennent donc le panorama de *Construire une Cellule* et de *Poussière de Vie* dans l'ordre chronologique de complexification. Le chapitre 11 décrit deux des moteurs responsables de l'accélération de l'évolution du vivant vers la complexité au delà de la vie protiste, la « division du

travail » dans les organismes pluricellulaires et l'invention de la reproduction sexuée. Dans les chapitres 12 à 14, l'ouvrage passe ensuite à l'émergence d'un primate particulier, d'un « *Troisième Chimpanzé* » comme le qualifie Jared Diamond (*The Third Chimpanzee*, Harper Perennial, N.Y. 1993) qui évoluera rapidement vers un être doué d'une intelligence et d'un langage avancés et qui s'attribuera le monopole exclusif « de savoir et de savoir qu'il sait ». Dans ces chapitres, l'auteur parle du mystère persistant de l'origine génétique de la différence de capacité mentale entre l'homme et les autres primates, voire même les autres organismes pluricellulaires doués d'un système nerveux central complexe. Il y discute de manière extraordinairement lucide et érudite des multiples points de vue sur la nature biologique ou transcendante de *l'ultime complexité*. C'est-à-dire la nature de l'hypothétique conscience qui semble l'apanage de l'organisation neuronale humaine et qu'ont cherché à élucider de grands biologistes contemporains tels que Francis Crick (*The Astonishing Hypothesis*, Scribner, New York, 1994) ou philosophes tels que Daniel Dennett déjà cité (*Consciousness Explained*, Penguin Books, 1991), parmi beaucoup d'autres. Contrairement à ces deux auteurs pour qui la conscience humaine n'est qu'un épiphénomène illusoire accompagnant l'activité électro-physiologique du cerveau, C. de Duve croit en la réalité de l'esprit (en anglais, the mind), non pas comme l'« âme » additionnelle, insufflée, semi-éternelle des philosophies et religions dualistes mais comme une entité distincte mais intrinsèque (qui reste à identifier) en interaction réciproque avec le cerveau via un hypothétique mécanisme énergétique de transduction. Naturellement le biochimiste est en mal de préciser ce qu'est ce mécanisme intermédiaire puisqu'aussi bien personne ne sait encore en quoi consiste la conscience, en termes physico-chimiques, même si les manifestations neuronales qui lui sont attribuées (comme celles évoquées par les sens) ont pu être localisées dans des structures corticales relativement bien circonscrites. Il est donc contraint de conclure modestement que « *nous n'aurons peut-être jamais la clé de l'énigme du cerveau* ». Si énigme il y a, l'attitude la plus pragmatique devant cette intuition pessimiste sur la nature de la conscience est peut-être alors celle recommandée par le grand physicien Richard Feynman qui est *de ne pas prêter attention à la question... temporairement*. Eluder la question et attendre patiemment, comme durent le faire les hommes du passé à propos d'une multitude de phénomènes aux aspects énigmatiques qui finirent par recevoir une explication rationnelle dans le cadre du progrès des sciences. Mais C. de Duve

semble pressé car il considère cette position de réserve agnostique sur la conscience comme une démission.

Au chapitre 15 C. de Duve développe des réflexions originales et nouvelles par rapport à ses œuvres précédentes sur la capacité qu'a acquise l'ingénierie moléculaire de « *refaçonner la vie* », c'est-à-dire de créer des OGM (organismes génétiquement modifiés), notamment ceux qui défrayent la chronique populaire. C. de Duve et les biologistes professionnels ont généralement, vis-à-vis des OGM, la même attitude favorable que la majorité des physiciens professionnels à l'égard du nucléaire. Ils savent techniquement de quoi il s'agit, ils n'en n'ont pas la peur que ressentent les non spécialistes. Ils ne sont guère pressés de leur appliquer le principe de précaution demandé par l'écologie politique, en général, et par certains écologistes tonitruants, en particulier. L'inquiétude et l'hostilité de ces contestataires, lorsqu'elles ne sont pas d'ordre essentiellement politique (liées notamment à la dominance économique des industries et des états producteurs d'OGM), proviennent de la puissance sans précédent de ces manipulations génétiques à propos desquelles ils éprouvent un vague pressentiment et se demandent *jusqu'où cela va-t-il nous mener?* Fort heureusement jusqu'ici, l'humanité n'a pas encore eu à connaître de « *Tchernobyl génétique* » et les partisans inconditionnels des OGM peuvent légitimement continuer à mettre en avant les énormes succès obtenus par la technologie dans les industries pharmaceutiques et agricoles.

Toujours dans ce chapitre 15, C. de Duve discute de la vieille question de l'eugénisme dans les termes de la biologie moléculaire moderne : ayant acquis les techniques de modification du génome des organismes vivants et même de notre propre patrimoine génétique humain, avons-nous le droit de mettre ces techniques en œuvre et, dans le cas de l'homme, où faut-il placer la limite, si l'on venait à tolérer et généraliser la production de HGM (humains génétiquement modifiés) ?

Enfin les trois derniers chapitres (16 à 18) analysent à nouveau les questions de la place de l'espèce humaine dans l'espace et dans le temps et de la signification, s'il y en a une, de cette « *contingence* » dans un univers immense, peut-être multiple. Comme il l'indique dans la préface de l'ouvrage, C. de Duve nous livre ici pour la première fois - mais ce ne sera pas la dernière - son véritable testament intellectuel. Tout d'abord il renouvelle avec force, dans les termes indiqués précédemment, son opposition radicale à l'évangile de la

contingence de Monod - Gould. Il n'adhère pas non plus au *principe anthropique fort* d'après lequel les lois universelles de la nature auraient été finement réglées (voire même « *conçues* ») pour la *nécessaire* apparition de la vie et de l'homme. On notera que cette nécessité de principe est en opposition radicale avec le credo de Monod pour qui la vie est un hasard et l'homme est un hasard sur un hasard. La connotation finaliste, voire théologique du principe est excessive au goût de C. de Duve. S'agissant de l'émergence de l'humanité, le principe anthropique est en fait un « *principe anthropocentrique fort* », car, si pour une raison ou l'autre, le genre *Homo* venait à disparaître, personne ne peut exclure la réapparition - C. de Duve penserait sans doute qu'elle serait probable - d'une forme d'intelligence supérieure surgissant soit d'un autre singe, soit d'une lignée autre que celle des primates. Cette réapparition ne ferait d'ailleurs que confirmer le principe téléonomique ou de modularité de la vie, c'est-à-dire, en dernière analyse, le déterminisme chimique, sans autre implication métaphysique.

C. de Duve préfère s'en tenir aux faits biochimiques scientifiquement incontestables et réaffirme que, loin d'être l'absurde hasard de Monod, « ... *la vie a dû obligatoirement naître dans les conditions physico-chimiques qui ont entouré son émergence* » et renaîtrait, ici ou ailleurs, dans des conditions semblables (« rejouer la bande » selon Gould). L'évolution adaptative de la vie serait ainsi le résultat du déterminisme biochimique d'une complexification progressive, automatique et obligatoire, dans les conditions favorables évolutives de la biosphère, selon le processus récurrent de variation-sélection naturelle agissant sur des systèmes auto-organisés de complexité croissante. Ce point de vue est proche de celui de l'automatisme algorithmique de Dennett. Cependant de Duve semble réticent à adhérer aux conceptions radicalement athées que ce philosophe et d'autres penseurs contemporains, tels que Dawkins, avancent dans leur interprétation mécaniciste ou « matérialiste » du Darwinisme totalement dépouillée de toute espèce de « spiritualité » animiste.

« *Quant à Dieu dans tout cela* » (chap.18) et à la place des religions monothéistes, tout en refusant de se dire athée, non, dit C. de Duve en substance, l'existence de Dieu n'est pas une question qui concerne la méthode scientifique. « *Dieu n'a pas créé l'homme à son image, c'est l'inverse* », aime-t-il parfois à répéter. S'il rejette ainsi le Dieu anthropomorphique des religions monothéistes, il estime néanmoins qu'« *il faut encore des prêtres, comme il faut des penseurs, des scientifiques, des philosophes, ..., c'est-à-dire des guides spirituels...* ».

Pour que faire ? Justement pour guider spirituellement dans l'affirmation d'une éthique et d'une morale qui, selon C. de Duve, ne découlent nullement des lois de la nature mais sont nécessaires à l'organisation sociale. Comme les arts, les cultures, les religions et toutes les autres créations « mémétiques » humaines⁶, l'éthique et la morale ne tombent pas du ciel mais – et en cela il est encore en parfait accord avec Monod – elles sont de la responsabilité *exclusive* de l'homme. Pas de l'homme autoritaire, prosélyte et dominateur du passé ni de l'homme fondamentaliste, intransigeant et exclusif du présent, mais de l'homme de réflexion, curieux, prudent, hésitant, interrogateur et respectueux de la liberté de pensée individuelle d'autrui, sensible au mystère de ce qu'il appelle, sans trop bien la définir, « *l'Ultime Réalité* ». Une ultime réalité dont il dit avoir toujours ressenti l'existence depuis l'adolescence et tout au long de sa longue carrière de chercheur, d'humaniste et maintenant de brillant écrivain. *À l'écoute du Vivant* est un livre passionné et passionnant, écrit comme les œuvres populaires précédentes de cet auteur, simultanément en français⁷ et en anglais (*Life Evolving*, Oxford UP, 2002). On voit bien, en lisant les deux versions, que l'homme est profondément imprégné des deux cultures. C'est un « *écrit lucide et poétique d'un des grands biologistes - philosophes de notre temps* », affirme son collègue de l'Université Rockefeller, Günter Blobel, lui aussi lauréat Nobel, sur la couverture de la version anglaise. Pour quelqu'un qui se disait « *philosophiquement illettré* », on voit que C. de Duve a fait un progrès fulgurant dans sa nouvelle spécialité!

-
6. Le mot « mème » est un néologisme introduit par Dawkins dans la littérature évolutionniste pour désigner l'équivalent culturel de la notion de gène. Les mèmes, localisés dans la mémoire des individus et les archives des sociétés, évoluent comme les gènes mais beaucoup plus rapidement ! Ils partagent avec ceux-ci plusieurs caractéristiques telles que l'auto-réplication, les variations par mutations et recombinaisons, la transcription (en textes écrits), la traduction (en comportements), etc.... Il ne semble pas que ce néologisme ait réussi jusqu'ici à s'implanter dans la langue française.
 7. La couverture de l'édition française (*A l'écoute du vivant*, Odile Jacob, 2002) exhibe un modèle artistique de molécule d'ADN gauche, en dépit d'un demi-siècle de double hélice droite. L'erreur est sans gravité et l'existence de l'ADN-Z, une double hélice gauche, n'en est pas une excuse. Mais, répétée en moyenne une fois sur deux dans la littérature (même spécialisée), l'erreur finit par agacer, d'autant que l'homochiralité des molécules biologiques, discutée par C. de Duve au Chapitre II de *Singularités*, est au cœur de l'origine de la vie.

Singularités

Dans *Singularités* (Odile Jacob, 2005), C. de Duve revient sur sa décision de ne plus rien écrire sur son sujet de prédilection exclusive, la nature de la vie, son origine et sa signification philosophique. Il promet que ce livre sera son dernier, mais il y aura encore *La Génétique du Pêché Originel*. Et c'est tant mieux pour ses fidèles lecteurs qui peuvent ainsi suivre l'évolution des vues de notre « *grand biologiste-philosophe* », lequel continue malgré tout à se considérer, lorsqu'il s'agit de métaphysique, comme « *simple spectateur, intéressé mais n'appartenant pas au club des initiés* ». Qui est initié si C. de Duve ne l'est pas ? Il a voulu préciser sa pensée exprimée jusque là, dit-il, de manière insuffisamment claire et incisive, quelquefois mal interprétée par certains de ses collègues biologistes. L'exposé est redevenu plus technique, les équations et les schémas chimiques ont fait leur réapparition. La naissance et l'évolution de la vie sont ici présentées comme ponctuées par toute une série d'événements particulièrement « *singuliers* », étapes ou jalons importants précédant de nouvelles avancées dans la complexification. La longue liste des singularités identifiées et décrites par C. de Duve est décortiquée, une nouvelle fois, sur une vingtaine de chapitres. Feu John Maynard Smith, un ingénieur aéronautique converti à la biologie théorique et son coauteur Eörs Szathmary (*The Origins of Life*, Oxford UP, 1999) identifie aussi quelques « *Transitions Majeures* » qui coïncident assez largement avec les singularités de C. de Duve ; très succinctement : 1. Molécules briques ; 2. ARN ; 3. Protéines ; 4. ADN ; 5. Membranes ; 6. DACU ; 7. Eucaryotes ; 8. Multicellulaires ; 9. *Homo*. Essentiellement la progression de tous les livres précédents mais avec de nouvelles précisions biochimiques que je ne commenterai pas, faute de qualification.

Une notion importante se trouve beaucoup plus développée dans ce livre, par laquelle C. de Duve entend conforter son *évangile de l'inévitabilité* (« *fort peu de hasard, beaucoup de nécessité* », dit-il) et contredire *l'évangile de la contingence*. C'est la thèse de *l'optimisation sélective*. La sélection naturelle aurait eu, tout au long de l'évolution, l'opportunité de retenir les variations favorables, de *manière optimale*, suivant le critère de survie, à partir du champ mutationnel supposé *exhaustif* ou quasi-exhaustif de toutes les variations aléatoires pertinentes pour les conditions existantes. Bien qu'il soit probablement impossible de fournir une preuve générale de la complétude du champ mutationnel pour chacune des étapes du développement de la vie, C. de Duve était solidement ce concept dans quelques situations concrètes d'avant ou d'après le

DACU, telles que la longueur des ARN, la fixation du code génétique unique, l'allongement modulaire des protéines, l'adoption endosymbiotique, etc... C. de Duve reproche à ses critiques, partisans de l'évangile de la contingence à la Monod-Gould, de ne pas s'être adressés à ce puissant argument de l'optimisation. Je soupçonne ces détracteurs de n'être pas en mesure de le faire, ni pour l'infirmier ni pour le confirmer.

Génétique du Péch^é Originel

Voici le mot de la sagesse. De « philosophiquement illettré », de « simple amateur » et de « non initié », grâce à ses lectures, sa réflexion, sa recherche, ses écrits pendant le dernier quart de siècle, C. de Duve a acquis la stature du sage ou de l'oracle antique que l'on consulte aux époques troublées. Dans ce dernier livre (*Génétique du Péch^é Originel*, le Poids du Passé sur l'Avenir de la Vie, Odile Jacob, 2009), il prend un grand recul par rapport à tous les aspects de la vie traités dans son œuvre et se pose la question : où est l'origine du « dérapage » de l'évolution à la surface du « pale blue dot » (l'évocation émouvante de Carl Sagan pour désigner la terre vue de l'espace) où l'homme s'est transformé en coucou encombrant ? L'humanité s'est rapprochée du bord du gouffre de l'autodestruction, sorte d'« apoptose » de l'espèce, non seulement par le maintien des moyens d'une rapide incinération nucléaire déjà en place depuis les années 1960, mais maintenant, un demi-siècle plus tard, par le danger d'une suffocation plus progressive mais tout aussi efficace associée à la démographie galopante et à la consommation débridée des pays industrialisés et en voie de le devenir.

Dans les premières parties du livre, C. de Duve commence, une fois encore, par réarranger les faits et donner un autre éclairage sur ce qu'est la vie, ce que furent ses origines, ce qu'est l'évolution darwinienne. Cette nouvelle mouture est intéressante même pour les fidèles lecteurs car le filtre de la brièveté ne permet de conserver que les aspects de toute première importance. C'est un aide-mémoire qui sera particulièrement utile, peut-être indispensable, pour les nombreux lecteurs peu informés en biologie qui, alléchés par le titre accrocheur de l'ouvrage, seront surtout attirés par sa seconde partie. Ici C. de Duve offre une vue synthétique de « l'aventure humaine », identifie « les défis du futur » et a le courage d'énoncer toute une série de scénarios de comportements qu'il classe, apparemment, dans l'ordre de la responsabilisation croissante de l'homme sur son propre sort dans la biosphère.

J'épargnerai au lecteur mes commentaires sur ces scénarios car la clarté de l'exposé et la limpidité de style se suffisent à elles-mêmes et rendent la lecture absolument passionnante. Je souhaite cependant finir par une ou deux réflexions sur ce concept et ce titre provocateurs de « *péché originel* ». La « faille » initiale dont parle C. de Duve dans l'avènement de la lignée des hominidés a conduit d'abord aux succès immenses mais éphémères des civilisations, puis à la perspective menaçante d'autodestruction dans un avenir pas très éloigné. Selon C. de Duve, la faute doit être attribuée à la sélection naturelle qui a retenu une série de mutations qu'il qualifie de « *bizarrierie génétique* » et qui ont conduit au développement de l'intelligence humaine. A ma connaissance les sciences du cerveau ne sont pas encore arrivées à mettre en évidence en quoi a bien pu consister cette bizarrerie initiale car, même aujourd'hui, on n'a pas encore pu identifier les traces spécifiques dans le génome qui provoque la différenciation des capacités cognitives entre l'homme et les autres primates. Dans son livre, Monod fait la suggestion assez convaincante que l'effet de ces mutations génétiques initiales sur le comportement aurait été une capacité accrue, s'améliorant auto-catalytiquement, de la *simulation* mentale d'évènements attendus dans le futur plus ou moins éloigné (ce que les physiciens appellent, dans leur domaine, « l'expérience de pensée » ou ce que tout le monde appelle prosaïquement « l'imagination »). L'énorme avantage adaptatif que confère le moindre accroissement de la capacité mentale de simulation expliquerait largement l'extrême rapidité (quelques dizaines de milliers de générations), sur l'échelle de temps géologique, de l'évolution du genre *Homo* vers l'espèce *sapiens*.

Au chapitre 13, C. de Duve identifie cette faille initiale à la *mauvaise rencontre* entre le comportement animal inné, buriné au sein même de nos « gènes égoïstes » comme dit Dawkins (*The Selfish Gene*, Oxford UP, 1989) et le nouveau comportement intelligent né de cette « *bizarrierie génétique* ». Le premier pousse à la volonté de se reproduire et à la poursuite de la satisfaction des besoins essentiels à la survie, tandis que le second réclame bien davantage, le confort garanti, l'assouvissement de besoins superflus, la jouissance débridée, le pouvoir individuel ou tribal, l'égoïsme de groupe, la domination de la nature, etc... Particulièrement intéressante est la spéculation de C. de Duve que l'existence de cette faille dans la nature humaine aurait été pressentie par nos ancêtres, il y a quelques millénaires. Ces anciens se seraient déjà interrogés, dans les compte-rendus de l'histoire de leur groupe ou de leur ethnie, sur

l'origine des multiples calamités humaines, l'avidité et la cupidité, le viol, le meurtre, les guerres tribales, les conflits de civilisations, la destruction de l'environnement, etc... Cette intuition précoce aurait inspiré à quelques poètes ou anciens sages de l'époque le mythe du « péché originel » biblique, lequel aurait coûté à l'humanité un hypothétique paradis perdu. On voit ici et dans le titre même de l'ouvrage, que C. de Duve ne peut se départir complètement de son éducation dans la tradition chrétienne.

Ne faut-il pas plutôt voir dans cette invention du péché originel un stratagème astucieux de ces mêmes « sages » d'inculquer aux individus un sentiment de culpabilité, afin d'imposer plus efficacement aux peuples crédules une autorité incontestable basée sur le nouveau dogme monothéiste ? En d'autres termes, le péché originel ne serait-il pas un gadget génial pour le maintien d'un ordre social hiérarchisé ? Quoi qu'il en soit, l'idée de « péché » - que ce soit l'originel ou le mortel et le véniel du dogme - a généré, après le concept de paradis perdu, une longue liste de nouveaux produits dérivés tels que l'enfer, le rachat, la rédemption, le paradis retrouvé, la confession, le pardon, l'indulgence, le « purgatoire » (récemment aboli), etc..., autant d'innovations culturelles que la religion catholique a introduites comme instruments, d'une efficacité historique redoutable, pour perpétuer le dit sentiment de culpabilité individuelle et collective. C. de Duve insiste bien qu'il ne s'agit pas d'une culpabilité de fait quand il dit : *Il n'y a pas d'Eve à blâmer, pas de serpent, seulement la sélection naturelle... dénuée de prévoyance comme de responsabilité.* N'empêche que la culpabilité est bien là, profondément incrustée dans les « mêmes » de l'Humanité, du moins ceux de la civilisation chrétienne occidentale.

Souhaitons que le magnifique message d'éthique humaniste que C. de Duve développe dans son dernier livre, basé sur toute une vie de recherche, de pensée désintéressée et maintenant de grande sagesse, soit entendu non seulement par *une bonne part de l'humanité*, comme il dit, mais par l'humanité tout entière.

Du monisme au pessimisme : une lecture théologique et philosophique de Christian de Duve

DOMINIQUE LAMBERT

ESPHIN

Université de Namur

d.lambert@fundp.ac.be

Nous voudrions ressaisir ici d'une manière concise quelques thèses philosophiques que Christian de Duve a esquissées dans ses derniers ouvrages, afin d'en manifester l'architecture conceptuelle et de mettre en évidence les questions qu'elles soulèvent¹.

Il ne serait pas correct de figer la pensée de Christian de Duve à l'un ou l'autre de ses livres ou articles. Cette pensée s'est explicitée peu à peu et l'on y voit des thèmes apparaître, se préciser et parfois s'éclipser. Il s'agit d'une pensée en évolution. Néanmoins, on peut aisément y repérer un fil conducteur et une cohérence interne que nous traduirons, dans un premier moment, au moyen de quelques idées maîtresses sous forme de thèses qui se présentent comme autant d'énoncés philosophiques et (anti)-théologiques. Nous nous permettrons d'en analyser la portée ainsi que les difficultés qu'elles peuvent soulever. Nous verrons alors, dans un deuxième moment, de quel système philosophique la pensée de Christian de Duve est proche, en disant toutefois

1. Une version plus détaillée d'un point de vue théologique peut être trouvée dans : D. Lambert, « Quelques aspects philosophiques et théologiques de l'oeuvre du Professeur Christian de Duve » in *Épistémologie et Théologie. Les enjeux du dialogue Foi-Science-Éthique pour l'avenir de l'humanité* (L. Santedi Kinkupu, éd.), Faculté de Théologie des Facultés Catholiques de Kinshasa, 2007, pp. 467-497. Le texte présenté ici actualise et présente d'une manière nouvelle certains contenus de cet article destiné à des théologiens.

que ce dernier ne revendique pas ce rapprochement. En effet, la base de sa réflexion n'est pas, comme il aime à le dire parfois, une suite de références et d'ouvrages philosophiques ou religieux, mais bien le raisonnement et la logique².

L'écart au christianisme en quatre thèses

Lorsqu'on lit, avec un regard théologique, les ouvrages de Christian de Duve, on ne manquera pas de voir en creux une prise de distance et une négation progressive des contenus fondamentaux de la foi chrétienne. En fait, à chacune des grandes positions philosophiques qui s'affirment dans ses livres, il est possible de faire correspondre la négation d'un fondement du christianisme. Même si dans l'une de ses conférences faite à Louvain aux « Jeunesses scientifiques », le 1^{er} décembre 1959, on peut trouver une brève allusion, de pure circonstance, à l'œuvre du « Créateur »³, l'explicitation récente de son évolution intellectuelle manifeste nettement une posture non croyante dont les contours sont esquissés, en négatifs, par le schéma d'exposition fondamental et classique de la dogmatique chrétienne.

Thèse 1 : le monisme de l'*Ultime réalité*

Écart 1 : le refus du Dieu véritablement transcendant

Biologiquement, l'homme n'est qu'un moment de l'histoire évolutive, il ne peut prétendre à aucune place définitivement centrale ou hiérarchiquement supérieure. Pourtant, une prise de conscience de la richesse de nos capacités et de nos expériences intellectuelles, esthétiques ou relationnelles forcent

2. Nous voudrions remercier le Professeur de Duve pour nous avoir souvent invité à débattre en toute franchise avec lui de thèmes philosophiques développés dans ses livres. Une des plus belles caractéristiques de sa pensée est, nous semble-t-il, outre sa franchise et sa clarté, son refus de s'enfermer dans une position rigidifiée, pour donner l'occasion d'une rencontre et d'une confrontation rationnelle avec des convictions et points de vue très différents du sien, ce qui fut parfois notre cas ! La netteté et la vigueur de ses propos nous a toujours semblé aller de pair avec l'invitation sincère et permanente au dialogue. Pour cela nous lui en sommes infiniment reconnaissant.
3. « Inquiet, certes, il (le biologiste) l'est, comme l'est tout homme qui vit dans l'intimité du mystère ; orgueilleux sans doute aussi, - n'est-ce pas là l'écueil qui guette tous ceux qui prétendent affronter l'inconnu ? Mais surtout et avant tout, dans sa contemplation quotidienne du miracle de la vie, saisi d'humilité et d'émerveillement devant l'œuvre admirable du Créateur », Ch. de Duve, « Aux confins de la vie », *Revue des Questions Scientifiques*, t.CXXXI (5^e série t.XXI), 1960, p. 35.

l'admiration et renvoie à une profondeur du monde, à une épaisseur insondable de la *matière-espace-temps* qui porte en elle cette « poussière de vie ». Cette profondeur ne s'identifie pas à une radicale transcendance. On ne sort pas ici du monde conçu comme un grand tout rassemblant, en une totalité unifiée, les existants. Cette réalité naturelle, qui nous porte et nous constitue, doit être « quelque chose d'ineffable, (de) totalement mystérieux »⁴ et il propose de l'appeler : « l'Ultime réalité ».

Pour qualifier cette « Ultime réalité » de Duve n'emploie pas le terme de Dieu, mais il est clair qu'elle correspond adéquatement à ce « Dieu dépersonnalisé » qu'il appelle de ses vœux⁵ : « nous devons « dépersonnaliser » Dieu, tout comme la nouvelle physique nous dit qu'il faut « dématérialiser » la matière ».

Cette « Ultime réalité » définit en fait le sens profond du réel dont de Duve cherche déjà une expression adéquate dans son ouvrage *Poussière de vie*⁶ :

« Si l'Univers n'est pas vide de sens quel est donc ce sens ? Pour moi, cette signification gît dans la structure même de l'Univers qui se trouve être capable de produire la pensée par le truchement de la vie et du fonctionnement cérébral. La pensée, à son tour, est une faculté grâce à laquelle l'Univers peut réfléchir sur lui-même, découvrir sa propre structure et comprendre des entités immanentes telles que la vérité, la beauté, le bien et l'amour. Telle est la signification de l'Univers comme je l'entends ».

L'homme peut approcher, au moins de deux manières différentes, cette Ultime réalité qui comble sa recherche d'un sens immanent.

Premièrement, par la recherche scientifique. L'Ultime réalité est vue, dans ce cas, comme un horizon de la rationalité (scientifique), mieux comme un abîme, pour reprendre un terme cher à Jean Ladrière, dans lequel nous nous enfonçons à la faible lumière de notre raison et dont la profondeur sans cesse nous échappe.

4. Ch. de Duve, *À l'écoute du vivant*, Paris, Odile Jacob, 2002, p. 362. Le thème du « mystère » exprimant la profondeur insondable du réel est déjà présent dans la pensée de l'auteur dès 1959 (cfr Ch. de Duve, « Aux confins de la vie », *op. cit.*, p. 35).

5. *À l'écoute du vivant*, *op. cit.*, p. 356.

6. *Poussière de vie*, *op. cit.*, p. 496.

Deuxièmement, par l'expérience humaine du beau, du bon ou de l'amour, qui implique un rapport à la vie subjective. Au nom d'une préférence philosophique, qu'il qualifie de « platonicienne »⁷, de Duve se refuse à réduire l'aspiration au beau ou le désir d'amour à des schémas explicatifs simplement utilitaristes ou darwiniens (et donc dépendant de la rationalité scientifique). Il envisage, à titre d'hypothèse, qu'il s'agit là « d'aspects authentiques de la réalité ultime, différents de ceux qui sont accessibles à la pensée rationnelle, mais (qui sont) doués néanmoins d'une existence propre »⁸. On pourrait dire que, tout en étant parfaitement darwinien et donc admettant que *certaines aspects* de ce que nous appelons le beau, le bien ou l'amour peuvent être expliqués, chez l'homme, en termes d'utilité comportementale et d'avantages évolutifs, il incline à penser que le beau, le bien ou l'amour doivent avoir un fondement plus profond, plus universel, plus « en soi »⁹.

L'Ultime réalité, horizon vers lequel convergent nos quêtes rationnelles et fondement de nos aspirations les plus profondes, ne nous offre que quelques unes de ses facettes. Notre condition d'être biologique, fruit d'une évolution particulière, nous a gratifiés de moyens cognitifs et perceptifs merveilleux mais limités. Nous ne pouvons donc pas espérer rationnellement toucher les limites de cette réalité : nous avons « tout juste assez pour nous remplir d'émerveillement, d'aspiration et du sentiment d'appartenir à quelque chose qui nous dépasse totalement, mais qui est signifiant »¹⁰. Cet aveu d'ignorance n'est pas posé, ici, sur le fond d'une attitude seulement sceptique ou agnostique. Chez de Duve, il y a une volonté de caractériser de manière plus posi-

7. *À l'écoute du vivant, op. cit.*, p. 358. Il semble cependant que le qualificatif « platonicien » ne soit pas adéquat si l'on veut être fidèle à l'inspiration de la pensée de de Duve, par ailleurs tout à fait cohérente. Au fond, la position décrite est plus proche de celle de Spinoza dont certains aspects peuvent, comme l'a très bien fait remarquer Bréhier, être pris à tort pour des thèmes néo-platoniciens (E. Bréhier, *Histoire de la philosophie. III/ XVII^e-XVIII^e siècles*, Paris, P.U.F., 1981, p.156). Nous reviendrons dans la suite sur le « spinozisme » de de Duve.

8. *À l'écoute du vivant, op. cit.*, p. 357.

9. « On n'a aucune idée de la manière dont le cerveau a pu par exemple arriver aux notions de beauté, de vérité, de bien ou de mal. Je veux bien admettre qu'il s'agit de produits de la sélection naturelle, que tout cela est apparu parce que c'était utile à notre développement. Mais j'ai quand même du mal à imaginer que cela n'a aucune correspondance avec la réalité. Que le beau en soi ou le bien en soi n'a pas une certaine signification. Les notions du beau et du bien sont certes relatives, mais le fait qu'on cherche la beauté ou qu'on aspire au bien est une réalité universelle » (« Christian de Duve : l'évolution a un sens », propos recueillis par O. Postel-Vinary, *La Recherche*, 286, avril 1996, pp.90-93).

10. *À l'écoute du vivant, op. cit.*, p.358.

tive cette réalité qui nous dépasse et par rapport à laquelle nous sommes toujours en partie ignorants. En cela, de Duve, conformément à ce qu'il énonce très correctement, n'est ni totalement agnostique (puisqu'il ne se contente pas d'une sorte de docte ignorance quant au sens profond de la réalité), ni totalement athée (puisque l'Ultime réalité est une sorte de « Dieu dépersonnalisé »).

En fait son idée de Dieu est pensée en cohérence avec son approche scientifique et se présente au fond comme une proposition (qu'il reconnaît avec une parfaite honnêteté intellectuelle porteuse d'un certain nombre de préjugés d'ailleurs inévitables) visant à¹¹ « remplacer les mythes propagés par les religions, tout en essayant de ne pas compromettre les nombreuses structures bienfaitantes que celles-ci ont édifiées sur les mythes ».

Tentons de reprendre en quelques mots la « philosophie naturelle » du Professeur de Duve pour en manifester l'architecture. Partons du présupposé *moniste* que toute la réalité, tout l'être s'épuise dans une seule « *substance* » : l'Ultime réalité qui ne dépend de rien d'autre, mais qui comprend toute existence. La vie biologique, qui germe « sur » et par la matière physico-chimique, l'humain et sa pensée qui s'enracinent dans l'histoire évolutive du vivant, sont des manifestations de *nécessités* internes à cette Ultime réalité, que nous traduisons à notre niveau et partiellement (car nos facultés sont limitées) par les lois scientifiques. Ce que nous traduisons par les « transcendants » (le vrai, le bon, le beau,...)¹² est l'expression d'une richesse infinie de cette Ultime réalité que certaines expériences (impliquant la raison et plus spécialement la science ou d'autres facultés de communion à la nature, à savoir par exemple l'expérience esthétique, éthique ou mystique) nous permettent d'entrevoir, mais seulement à la manière d'un éclair dans la nuit, jamais de manière entièrement claire et distincte. À l'opposé des idées de certains existentialistes, contemporains de Jacques Monod, célébrant un monde proprement absurde, l'Ultime réalité propose un sens. Ces parcelles de la réalité empirique que nous explorons nous renvoient, sur le mode de l'indice ou de la trace, à un horizon de sens vers lequel nous tendons sans jamais pouvoir l'atteindre. Optimisme et modestie caractérisent la philosophie implicite du Prix Nobel.

11. *Ibid.*, p.348.

12. La question des « transcendants » occupe une place centrale chez un autre collègue et ami de Jacques Monod : Jean-Pierre Changeux : *Du vrai, du beau, du bien. Une nouvelle approche neuronale*, Paris, Odile Jacob, 2008.

Chaque pas de l'évolution, chaque avancée scientifique, artistique ou éthique, voire humaine, présuppose et révèle quelque chose de cette Ultime réalité. Mais, par ailleurs, l'œuvre de de Dube nous invite à une profonde et belle humilité. Ce qui compte, pour nous, nous rappelle-t-il, ce n'est pas tant cet « Absolu » que nul ne peut posséder, mais plutôt cette aspiration, ce chemin, que l'humain parcourt modestement en direction de ce qui lui apparaît comme l'horizon ultime de sens.

Thèse 2 : la primauté du déterminisme et le refus de la contingence

Écart 2 : le refus de la Création

Dès que les conditions physico-chimiques initiales sont présentes sur un site cosmologique adéquat, la vie doit nécessairement y apparaître et enclencher son histoire évolutive, en vertu des lois (reproductibles) de la physico-chimie. La vie appartient donc à la trame même de l'Univers qui est vue comme une « poussière de vie ». Cette vie peut donc apparaître et évoluer en de nombreux endroits du Cosmos, ses caractéristiques globales (non pas les détails !) devant être très semblables en ces divers endroits, en raison de l'universalité des lois de la matière. La vie pourrait aussi, pour les mêmes raisons, être reproduite *in vitro*. Sur ce point, de Dube a tenu à bien marquer sa différence par rapport à Jacques Monod¹³ :

« La vie appartient à la trame même de l'Univers. Si elle n'était une manifestation obligatoire des propriétés combinatoires de la matière, il eût été absolument impossible qu'elle prenne naissance naturellement. En attribuant au hasard un événement d'une complexité et d'une improbabilité aussi inimaginable-on se rappelle l'allégorie de Hoyle d'un Boeing 747 qui émergerait d'un tas de ferraille (...) -Monod invoque en réalité un miracle. Malgré la vigueur avec laquelle il aurait refusé cette description, il se place du côté des créationnistes »

Au tout début de l'histoire de la vie, le hasard ne joue pas un rôle déterminant¹⁴, nous sommes dans le règne de la chimie parfaitement reproduc-

13. pp. Ch. de Dube, *Construire une cellule. Essai sur la nature et l'origine de la vie*, Bruxelles, De Boeck Université, 1990, p.291.

14. « La voie empruntée par la vie naissante pourrait avoir été entièrement déterministe jusqu'au progénote, peut-être même jusque la dernière cellule ancestrale commune, ne laissant au hasard que quelques événements rares peut-être inexistantes » (*Construire une cellule, op.cit.*, p.287).

tible¹⁵. L'histoire évolutive de la vie, quant à elle, s'explique en faisant référence aux mutations qui affectent au hasard le génome et à la pression sélective de l'environnement. Mais quelle est l'importance effective de ce hasard dans l'évolution ? La réponse est la suivante¹⁶ :

« Je soupçonne que le hasard pourrait avoir joué un rôle moindre, et la nécessité un rôle plus important, que ne le croient Monod et de nombreux biologistes moléculaires et évolutionnistes contemporains. Ce soupçon ne repose pas sur des arguments solidement structurés. Peut-être s'agit-il simplement d'un désir déguisé en pensée inspiré par le fait que, contrairement à Monod, je ne me complais pas à l'idée d'être « seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où [j'aurais] émergé par hasard » (J. Monod¹⁷) . D'une manière plus rationnelle, mon préjugé se fonde sur le sentiment que le principe d'assemblage modulaire, avec les restrictions qui en découlent, a continué à jouer un rôle majeur dans l'évolution, utilisant des modules de dimension et de complexité croissantes. Les « contraintes du hasard » pourraient être beaucoup plus contraignantes que l'on ne le suppose généralement. »

Dès 1972, Christian de Duve a explicité ce thème des « contraintes du hasard »¹⁸, une notion dont il souligne la parenté avec les idées du grand spécialiste des probabilités, Émile Borel. En fait un phénomène aléatoire est caractérisé par sa probabilité d'occurrence ($1/2$ pour l'obtention de « pile » dans le lancer d'une pièce de monnaie). Or cette probabilité est toujours définie par rapport à un ensemble bien précis de possibilités, de configurations (2 dans le cas de la pièce), qui fixent les limites, les contraintes du hasard. Ces contraintes ont pour effet, dans certaines circonstances, d'estomper progressivement l'incertitude pesant sur le phénomène. Si nous répétons un grand nombre de fois, disons mille fois, un lancer de pièce, le phénomène a beau être régi par le hasard, nous pouvons être certain qu'au moins une fois sortira « pile ». Comme le dit de Duve : « Le hasard n'exclut pas l'inévitabilité ». Le recours à des arguments invoquant une intervention « spéciale », extérieure au monde phy-

15. Selon de Duve, la vie ne provient pas non plus, comme le pensait Prigogine, d'une structure dissipative, résultat d'une amplification de fluctuations au sein d'un système thermodynamique situé loin de son équilibre.

16. *Construire une cellule, op.cit.*, p.290.

17. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1970, p.195.

18. « Les contraintes du hasard », *Revue générale. Perspectives européennes des sciences humaines*, février, 1972, p.22. Nous renvoyons aussi à « *The Constraints of Chance* », *Scientific American*, January 1996, p.96 et *À l'écoute du vivant*, Paris, Odile Jacob, 2002, pp.209-210.

sique, pour expliquer la genèse des structures complexes du vivant, ne tient plus au regard du temps de l'évolution. Les contraintes du hasard délimitent un « espace » borné qui, vu les longues échelles de temps et le nombre extrêmement grand des évènements, finira toujours par être complètement exploré. L'environnement quant à lui joue un rôle de filtre qui ne laisse passer que les structures qui lui sont adaptées. Christian de Duve a tenu à repreciser, une fois encore et de façon très éclairante, sa position au début de son beau livre *Singularités. Jalons sur les chemins de la vie*¹⁹. Ceci montre l'importance qu'il accorde, sur un plan fondamental, à cette position qui explique comment le hasard peut devenir nécessité. Si un environnement ou un expérimentateur impose des contraintes sélectives à un système vivant ou moléculaire et s'il existe, parmi les variantes possibles (les mutants) de ce système, produites au hasard, l'une de celles-ci qui se trouve être mieux adaptée à ces contraintes, alors, même si la probabilité de cette variante est très faible, elle finira par apparaître et être sélectionnée, pour autant que l'on attende suffisamment longtemps. Les exemples donnés par de Duve sont très éclairants. Ainsi, il suffit de jouer 38 fois pour qu'une face d'un dé, prescrite à l'avance, sorte avec 99,9 chances sur 100. De même un numéro de loterie de 7 chiffres sortira certainement, avec une probabilité de 0,999 (c'est-à-dire presque certainement) si l'on observe 69 millions de tirages. On comprend, dès lors, que des évènements extrêmement rares, qui sont cruciaux pour l'adaptation optimale d'un organisme à un environnement, finissent par être nécessairement sélectionnés (si le spectre des diverses variations, mutations, peut être exploré totalement) sans faire intervenir aucun « téléguidage » ou aucune finalité immanente.

Pour préciser le rôle du hasard, de Duve distingue, deux types d'évolution : « horizontale » et « verticale ».

La première concerne des changements génétiques qui n'affectent pas fondamentalement le plan corporel d'un organisme mais qui engendrent une grande variété de formes (par exemple toutes les espèces d'insectes). Dans ce processus générateur de biodiversité, le hasard joue un grand rôle (hasard des mutations et hasard des évènements et situations environnementales), les contraintes du hasard sont assez souples et l'on peut parler d'un domaine où la contingence est importante.

19. Paris, Odile Jacob, 2005.

La deuxième caractérise des modifications génétiques plus rares qui entraînent des changements profonds du plan corporel. Ici le hasard est beaucoup plus contraint. On comprend aisément qu'un changement radical de l'architecture de base d'un organisme complexe est soumis à un grand nombre de contraintes, la plasticité du plan organisationnel diminuant avec la complexité de l'organisme. Dans pratiquement tous les cas (mais non pas tous) d'évolution verticale, il y a augmentation de la complexité et en même temps des contraintes restreignant l'importance du hasard. L'évolution verticale est donc en quelque sorte canalisée dans une sorte « d'entonnoir évolutif » pour reprendre les termes de de Duve. Ceci a pour conséquence le fait qu'à un certain niveau de complexité, les organismes doivent inévitablement suivre une histoire évolutive quasi-déterminée et pratiquement indépendante de l'environnement. Pour ce qui concerne l'évolution verticale, la contingence ne joue pratiquement plus. C'est pour cette raison que de Duve s'inscrit en faux par rapport aux biologistes ou aux paléontologues (comme S. J. Gould²⁰) qui lisent l'histoire qui conduit de la première cellule à l'homme comme une série d'évènements marqués par la contingence. Une des thèses centrales défendues par le Prix Nobel de médecine consiste dès lors à montrer ²¹:

« ...la fausseté de « l'évangile de la contingence » que l'on prêche au nom de la science. Cette doctrine repose, comme j'ai tenté de le montrer, sur des prémisses scientifiques incorrectes. Non pas, comme le voudraient certains, parce qu'il y a « autre chose » qui façonne la direction de l'évolution, mais parce que les contraintes naturelles au sein desquelles le hasard s'exerce sont et ont toujours été telles que l'évolution vers une complexité croissante devait presque obligatoirement se produire du moment que l'occasion lui en était donnée. »

Pour de Duve, le problème majeur de toute conception de l'évolution basée sur la contingence est le fait qu'elle identifie subrepticement imprévisibilité et improbabilité. Or, dit-il²², « Des évènements peuvent avoir lieu strictement par hasard et pourtant être obligatoires. Tout ce qui est nécessaire, c'est de leur fournir suffisamment d'opportunités d'avoir lieu, relativement à leur probabilité ».

20. Cfr par exemple : S.J. Gould, *The Structure of Evolutionary Theory*, The Belknap Press of Harvard University Press, 2002.

21. *À l'écoute du vivant*, op.cit. p.350.

22. « Les mystères de la Vie : y a-t-il « quelque chose d'autre » ? » in *Science et quête de sens*, Paris, Presses de la Renaissance, 2005, p.79.

La conception déterministe de l'évolution verticale de de Duve se trouve renforcée par les découvertes de la biologie du développement et de cette nouvelle discipline que l'on appelle l'*Evo-Devo* (*Evolution and DEvelopment*). Des « gènes maîtres » qui commandent toute une série de cascades d'évènements déclenchant le développement de certains organes (l'œil par exemple), sont présents et conservés dans des lignées animales très différentes, tout en y causant les mêmes processus morphogénétiques. Ces gènes peuvent être utilisés, au sein de la même espèce animale, pour provoquer, de manière complètement déterministe, des organes à des endroits inhabituels. Mais, ils peuvent être aussi transférés d'une espèce à l'autre, de la souris à la mouche par exemple, pour y remplir la même tâche ! On pourrait dire qu'une des dimensions du « déterminisme biologique » dont parle Christian de Duve est grandement étayée aujourd'hui par cette possibilité d'effectuer, de manière répétable, au moyen de gènes du développement (homéogènes) le contrôle de certains aspects de la morphogenèse animale²³. Et cela est intéressant car, comme le dit le Prix Nobel, cela montre aussi²⁴ « comment des changements phénoménaux du phénotype peuvent être occasionnés par des mutations simples. Les « sauts mystérieux » pourraient, après tout, se révéler explicables en termes naturalistes. Ils pourraient être ouverts à l'étude expérimentale... »

La conception de de Duve s'oppose à tout *vitalisme*, en particulier celui de Bergson par exemple, puisque la vie s'explique entièrement par les lois de la physico-chimie et non pas en faisant référence à un quelconque « élan vital », qui n'a pas sa place au sein du champ de pertinence de la biochimie. Cette opposition remonte certainement à l'influence décisive de son premier maître à Louvain : Joseph Bouckaert qui était, pour ce qui est de sa science, un mécaniste convaincu²⁵. La conception de de Duve s'oppose d'une manière tout aussi forte, en raison de son présupposé déterministe, au *finalisme* qui supposerait une sorte de but, de *telos*, « forçant », en-haut et en-avant, pour reprendre la terminologie teilhardienne, l'émergence de la vie et sa montée en complexité. La conception de de Duve écarte donc les arguments que l'on trouve dans la tradition de la *théologie naturelle* anglo-saxonne, chez William

23. de Duve évoque ces gènes homéotiques dans son article : « Les mystères de la Vie : y a-t-il « quelque chose d'autre » ? » in *Science et quête de sens, op.cit.*, pp.73-74 et dans son livre : *Génétique du péché originel. Le poids du passé sur l'avenir*, Odile Jacob, 2009, pp.93-94.

24. *Science et quête de sens, op.cit.*, p.74.

25. *À l'écoute du vivant, op.cit.* pp. 9-10.

Paley ou plus récemment chez Michael Denton par exemple, qui supposent que l'extrême complexité du vivant ne peut être explicable seulement par les lois de la science mais requiert l'intervention d'une « Intelligence », d'un « dessein intelligent »²⁶.

Cette conception reposant sur un « mécanicisme (...) pour lequel cette fresque mouvante et colorée de l'univers animé semble avoir été réduite à un automatisme aride de macromolécules »²⁷ exclut toute irruption, au sein du cosmos, d'une radicale nouveauté, au sens où l'entend *L'Évolution créatrice* de Bergson ou la *creatio continua* de la théologie chrétienne. La primauté du déterminisme physico-chimique et la négation de la contingence²⁸ peuvent être lus dès lors comme une prise de distance par rapport à toute notion de création au sens métaphysique et théologique.

Thèse 3 : la dépersonnalisation de Dieu comme refus de tout anthropomorphisme

Écart 3 : le refus de l'Incarnation (« Dieu-fait-homme »)

La signification du religieux n'implique plus ici aucune référence à une divinité transcendant le Monde. Le religieux traduit plutôt, chez de Duve, l'expression d'un lien profond qui unit l'homme au Monde qui l'entoure, qui l'émerveille et le dépasse, mais aussi l'expression d'une profondeur de l'humain, qui semble se révéler dans l'expérience intellectuelle, esthétique ou morale. La perspective décrite ici n'est donc aucunement réductionniste ou naturalisante. Chez de Duve, l'activité du biochimiste de haut niveau ne conduit nullement à un réductionnisme plat²⁹. Il y a, au contraire, la nette

26. Ch. de Duve, « L'hypothèse d'un dessein intelligent. La vie et son évolution vers la complexité sont inscrites dans les propriétés de la matière et n'exigent pas l'intervention de quelque chose d'autre pour se manifester », *Sciences et Avenir*, Hors série, Décembre 2003/Janvier 2004, p.19.

27. Ch. de Duve, « Aux confins de la vie », *Revue des Questions Scientifiques*, *op.cit.*

28. La théologie catholique classique défend l'importance de la contingence : « C'est pourquoi (Dieu) a préparé pour certains effets des causes nécessaires, qui ne peuvent défailir, et d'où proviennent nécessairement les effets ; et pour d'autres effets il a préparé des causes défectibles, dont les effets se produisent d'une manière contingente » (Thomas d'Aquin, *Somme Théologique*, I^a, q.19, a.8). *Cfr* J.-M. Maldamé, « L'évolution et la question de Dieu », *Revue thomiste*, 107 (2007) 531-560.

29. de Duve refuse nettement une naturalisation de l'éthique : « Ce qui fait notre grandeur (...) et notre responsabilité, c'est précisément que nous avons le pouvoir de nous opposer à la nature et de la diriger si cela est souhaitable » (*À l'écoute du vivant*, *op.cit.*, pp. 360-61). Cependant, l'éthique ne se définit qu'en référence à des impératifs humains : « Les

affirmation d'une « grandeur » de l'homme qui se traduit, entre autres, par sa responsabilité morale et par sa capacité d'émotion esthétique. Il est d'ailleurs extrêmement intéressant et révélateur d'observer que la conclusion de plusieurs de ses livres fait référence à cette émotion³⁰ :

« Quand j'écoute de la musique, quand je me promène dans une galerie d'art, quand je régale mes yeux des lignes pures d'une cathédrale gothique, quand je lis un poème ou un article scientifique, quand je regarde jouer mes petits-enfants ou simplement quand je réfléchis sur le fait que je peux faire toutes ces choses, y compris réfléchir sur mon pouvoir de les faire, il m'est impossible de concevoir l'univers dont je fais partie comme n'étant pas contraint, par sa nature même, de donner naissance quelque part, à quelque époque, peut-être en de nombreux endroits et à de nombreuses époques, à des êtres capables d'apprécier la beauté, de ressentir l'amour, de chercher la vérité et d'appréhender le mystère. Cela me met, sans doute, dans la catégorie des romantiques. Qu'il en soit ainsi ».

L'expérience humaine du beau et de l'amour, jointe à l'émerveillement que produit, chez un scientifique, un Monde, à la fois compréhensible mais encore (et peut-être à jamais ?) largement mystérieux et dans lequel la contingence est supposée n'avoir aucune place, apparaissent comme au fondement de la conception que se fait de Duve de la dimension religieuse et de sa conception de Dieu que nous allons analyser maintenant.

Christian de Duve commence par écarter toute espèce de conception anthropomorphique de Dieu en raison d'une sorte d'humilité anthropologique³¹ :

« L'anthropomorphisme est aussi la pierre angulaire de nombreuses religions, surtout celles inspirées par la Bible, qui décrit l'homme comme ayant été créé à l'image de Dieu. Aucune phrase ne pourrait être plus quintessentiellement anthropocentrique -ni plus arrogante- que cet extrait du Livre de la Genèse. Selon celui-ci, l'homme est, de droit divin, le maître de la création et n'a de comptes à

lois morales ne sont pas absolues. Elles sont faites par les humains dans le but de régler leurs sociétés. Elles évoluent avec les connaissances, les mentalités et les situations nouvelles. » (*Ibid.*, p. 361).

30. Ch. de Duve, *Construire une cellule. Essai sur la nature et l'origine de la vie*, Bruxelles, De Boeck-Wesmael, 1990, p. 291 ; nous renvoyons aussi à : *Poussière de vie. Une histoire du vivant*, Paris, Fayard, 1996, p. 496 ; *À l'écoute du vivant, op. cit.*, p. 362 : « Et j'ai aussi vibré dans d'autres registres, en résonance avec des poètes, des écrivains, des artistes et des musiciens qui m'ont ému par leurs œuvres et leurs interprétations. »

31. *À l'écoute du vivant, op. cit.*, p. 354.

rendre qu'au Créateur. L'anthropocentrisme cède devant le théocentrisme. Mais ici encore, la composante « anthrôpos » joue un rôle dominant »

C'est au nom du refus de l'anthropomorphisme que de Duve justifie son refus respectueux du Dieu de la Bible³² :

« Fondé entièrement sur des documents datant d'une époque où la pensée humaine était dominée par une mythologie anthropomorphique et par des explications animistes, le récit biblique reflète manifestement les imaginations et préoccupations typiquement humaines de ses auteurs. Le Dieu de la Bible est une personne, possédant, sous la forme parfaite qui sied, toutes les qualités considérées comme désirables chez un souverain humain avec de surcroît, des pouvoirs magiques. Qu'il soit décrit comme Créateur tout-puissant, Souverain sévère, Juge inflexible, Pasteur compatissant, Père aimant, ou un mélange de telles représentations, le Dieu de la Bible reste enraciné dans l'imagerie trompeuse d'un anthropomorphisme qui prend ses désirs pour des réalités. La phrase biblique citée plus haut doit être inversée. C'est l'homme qui a créé Dieu à son image. »

On retrouve ici, sous une version réactualisée, l'idée que le Dieu de la Bible ou du christianisme ne serait qu'une sorte de projection ou de passage à la limite de nos désirs ou de nos représentations simplement humaines.

La question que soulève la position de de Duve est ici d'une importance cruciale. Comment reconnaître si le Dieu dont nous parlons n'est pas une pure construction ou une projection de nos imaginations débordantes et souvent naïves, comme le prétendait autrefois Ludwig Feuerbach ? Le Dieu du christianisme, correspond-t-il rigoureusement à ce genre de « projection » ? Nous ne le pensons pas. La raison que nous pourrions avancer ici serait que l'image du Dieu révélé en Jésus-Christ est assez différente de ce que notre imagination instinctive produirait lorsqu'on prononce le mot « Dieu ». Un Dieu conçu suivant le mode d'un « Souverain sévère », d'une sorte de « potentat », de « pharaon » est dans la droite ligne d'une projection anthropomorphique³³, de même, un Dieu vu simplement et unilatéralement comme un « Père aimant » à l'image de nos pères biologiques. Mais, est-ce bien là le Dieu

32. *Ibid.*, p. 355.

33. À propos d'un Dieu « monarque » ou d'un « pharaonisme céleste » nous suivons l'avis de Maurice Zundel qui affirme : « Mais justement un tel Dieu, dans la perspective chrétienne, n'a jamais existé : sinon dans l'imagination des hommes qui enfermaient la Divinité dans leurs propres limites » (*Dialogue avec la Vérité*, Paris, Desclée De Brouwer, 1964, pp. 102-103).

du christianisme ? Une projection de nos désirs produirait-elle un Dieu qui « ne retint pas jalousement le rang qui l'égalait à Dieu », un Dieu tout-puissant d'amour mais totalement impuissant devant un refus de l'homme, un Dieu tout puissant et cependant fragile et pauvre, un Dieu créateur qui s'agenouille devant sa créature. Ce Dieu « folie pour les grecs » est-il vraiment conforme à un « Dieu anthropomorphisé » ? Paradoxalement, le Dieu du christianisme se fait homme mais d'une manière qui tranche avec tous les anthropomorphismes mythologiques de l'Antiquité ou de ceux qui sous-tendent nos idoles d'hier et d'aujourd'hui. Quoiqu'il en soit, la position de Deuve apparaît ici en rupture avec l'un des points essentiels du christianisme : celui d'un Dieu-fait-homme, d'un Dieu personnel et proche s'incarnant pour rejoindre l'homme.

Thèse 4 : *La génétique du péché originel* ou la nécessité pour l'humanité de se sauver elle-même

Écart 4 : le refus de la Rédemption

L'idée centrale de *La génétique du péché originel. Le poids du passé sur l'avenir de la vie*³⁴ est le fait que la sélection naturelle nous a doté de certains « traits qui étaient *immédiatement* favorables à la survie et à la prolifération de nos ancêtres, dans les conditions qui existaient en leurs temps et lieux, sans égard pour les conséquences ultérieures. C'est là une propriété intrinsèque de la sélection naturelle. Elle ne voit que *l'immédiat*. Elle ne prévoit pas l'avenir » (p. 165). La sélection n'a donc pas doté l'humanité de capacités « de sagesse pour sacrifier des avantages immédiats aux exigences de l'avenir » (p. 168) mais n'a fourni que des outils pour la recherche de l'intérêt immédiat. Or ce bagage que nous conservons dans nos gènes est devenu un fardeau naturel nuisible car l'intérêt immédiat, égoïste de groupes fermés sur eux-mêmes, peut conduire à épuiser et à détruire sans vergogne les ressources de la planète en mettant en péril les générations futures. Ce fardeau naturel, génétique, Christian de Duve l'identifie au « péché originel » de la théologie chrétienne³⁵,

34. Paris, Odile Jacob, 2009.

35. On pourrait se demander si cette identification d'un contenu scientifique avec un concept théologique ne risque pas d'être perçu comme une forme de « concordisme » que de Duve réprouverait. D'autre part une telle identification fait fi des apports de la recherche exégétique et théologique contemporaines que l'on pourra trouver dans l'ouvrage de J.-M. Maldalmé, *Le péché originel. Foi chrétienne, mythe et métaphysique*, Paris, Cerf, 2008, Cogitatio Fidei n°262 ou dans le collectif sous la direction de Ch. Boureux et Ch. Theobald, *Le péché originel. Heurs et malheurs d'un dogme*, Paris, Bayard, 2005.

lequel n'est pour lui qu'un « mythe merveilleux » qui a entraîné l'invention de l'idée de rachat et « de l'acte rédempteur qui viendrait sauver l'humanité de sa déchéance » (p. 169). Pour « effacer la tache originelle », il y a bien un moyen : faire appel aux capacités de notre cerveau. Grâce à lui, « nous avons le pouvoir de regarder l'avenir et de raisonner, de décider et d'agir à la lumière de nos prédictions et expectatives, même contre notre intérêt immédiat, s'il le faut, et au bénéfice d'un bien ultérieur. Nous possédons la faculté unique d'agir *contre la sélection naturelle* » (p. 169). de Duve rejoint ici l'un des points clefs de l'anthropologie darwinienne qui s'exprime dans le cinquième chapitre de *La filiation de l'Homme et la sélection liée au sexe* (1871)³⁶. Cette anthropologie a été décrite par Patrick Tort qui la caractérise en invoquant un « effet réversif »³⁷ : la sélection naturelle a sélectionné des individus dont la partie la plus noble de leur nature consiste à pouvoir mettre un frein à cette sélection³⁸.

de Duve propose sept pistes d'action pour agir contre la sélection naturelle. La dernière qu'il propose est le contrôle de l'expansion de la population car, dit-il, « C'est la multiplication débridée des êtres humains qui permet de plus en plus à leur héritage génétique de produire ses effets pervers » (p. 219) ! Les moyens proposés par de Duve entrent ici en contradiction directe et frontale avec l'enseignement moral de l'Église catholique et avec une anthropologie qui valorise l'autonomie de la personne. Deux passages suffisent à illustrer cela :

« les procédés les plus efficaces et les plus performants pour réduire le nombre d'êtres humains restent la *contraception* et, aussi précocement possible, *l'interruption volontaire de grossesse*, y compris sa forme préventive, « la pilule du lendemain ». C'est par de tels procédés que l'humanité peut le mieux s'opposer à l'expansion démographique. Ils sont autorisés plus ou moins libéralement dans de nombreux pays. Mais cela ne suffit pas. Ils ne devraient pas être simplement tolérés ; ils devraient être *encouragés* » (p. 222).

36. (sous la direction de P. Tort, trad. coordonnée par M. Prum et précédée de P. Tort, « L'anthropologie inattendue de Charles Darwin »), Paris, Syllepse, 1999, p. 222.

37. P. Tort, *L'effet Darwin. Sélection naturelle et naissance de la civilisation*, Paris, Seuil, 2008.

38. P. Tort affirme par exemple que : « (l'éducation) dote les individus et la nation de principes et de comportements qui s'opposent précisément aux effets anciennement éliminatoires de la sélection naturelle, et qui orientent à l'inverse une partie de l'activité sociale vers la protection et la sauvegarde des faibles de corps et d'esprit, aussi bien que vers l'assistance aux déshérités. » (*Darwin et le Darwinisme*, Paris, P.U.F., 2005, Que Sais-je ?)

et

« Les allocations familiales devraient être limitées au premier enfant. À partir du troisième, un impôt, croissant avec le nombre d'enfants supplémentaires pourrait même être prélevé. Ainsi la liberté d'un chacun d'avoir des enfants serait préservée, mais à un prix qui tiendrait compte de l'impact sur la société. Des mesures devraient être prises également pour favoriser la stérilisation volontaire à grande échelle, surtout chez les progéniteurs qui risquent de dépasser le « quota » autorisé » (p. 223).

La position de de Duve pose de graves questions et le célèbre biologiste dit ne pas ignorer que les mesures qu'il « préconise risque(nt) de se heurter à des difficultés politiques, sociales, légales, économiques et autres » et qu'il accepterait que « des autorités plus compétentes » puissent modifier ses propositions (p. 223). de Duve prend nettement ses distances par rapport à toute forme d'eugénisme violent ou barbare, de type nazi par exemple (p. 188). Il affirme qu'il ne veut pas *éliminer* l'excès de population (comme dans les versions barbares) mais *le prévenir*. Il n'en reste pas moins vrai qu'un projet de « prévention » démographique tel qu'il l'envisage court le risque de déraiper assez vite vers des formes politiquement totalitaires qui vont à l'encontre des droits fondamentaux de l'homme et peuvent encourager les discriminations. L'exemple chinois, qui met déjà en œuvre les méthodes préconisées par de Duve, montre qu'une telle solution engendre des problèmes humains aussi graves, voire plus, que ceux qui sont liés à l'augmentation démographiques (par exemple la sélection arbitraire des sexes, l'abandon sauvage d'enfants surnuméraires...). L'impôt dont il est question plus haut par exemple pourrait entraîner de graves inégalités sociales, les riches seuls pouvant « acheter » ce droit à avoir une famille nombreuse ! L'intention de de Duve est fondée, on ne peut en douter, sur un grand sens de la responsabilité et sur une volonté de rencontrer un problème planétaire majeur³⁹. Cependant, pour contrer la faille originelle qui mène à l'égoïsme et au repli sur soi dans des « sociétés closes » comme les aurait qualifiées Bergson⁴⁰, on pourrait très bien imaginer, dans la logique même de ce que propose de Duve, pour contrecarrer les effets néfastes des limites de la sélection naturelle, utiliser son cerveau pour imaginer des solutions qui vont dans le sens du partage, de la solidarité de la redistribution des richesses, de l'accueil du plus faible, et qui ne présentent pas le flanc à des

39. De Duve rejoint sur ce point Hans Jonas et son *Principe responsabilité. Une éthique pour la civilisation technologique* (1979), Paris, Cerf, 1997 ; Flammarion 1998.

40. H. Bergson, *Les deux sources de la morale et de la religion*, Paris, Alcan, 1937.

formes politique autoritaire. L'espace géographique se restreignant, on pourrait plutôt chercher à augmenter la solidarité et les liens en créant des réseaux de plus en plus forts et conviviaux entre les gens. Pourquoi ne pas regarder dans cette direction ?⁴¹ Si l'on reste dans la cohérence de la conception de duvienne de l'Ultime réalité et de la profondeur qu'il lui confère, celle-ci ne pourrait-elle pas apparaître sous le visage d'un surcroît d'interactions entre personnes acceptant de renoncer à ce qu'ils ont pour que d'autres puissent vivre ? Il y a dans la solution proposée par de Duve un pessimisme qui contraste avec l'optimisme vigoureux qui se dégageait de son intuition d'Ultime réalité. Rationnellement, on ne peut éviter de rencontrer le problème soulevé par de Duve lié aux limites de l'apport de la sélection naturelle. Mais, rationnellement également, la solution proposée par de Duve ne s'impose pas. Reprenant une veine plus optimiste, nous pensons que d'autres solutions, pourraient être cherchées et trouvées pour prendre au sérieux notre responsabilité vis-à-vis des générations futures. Dans un article très éclairant intitulé « La fragilité en économie : chance ou menace ? » l'économiste Élena Lasida suggère des pistes intéressantes qui, plutôt que de se centrer sur une sorte de pratique « réparatrice » (dont le but est de conserver les acquis) ouvre à une « approche révélatrice de nouveauté » qui consiste à⁴² « ... profiter des limites devenues incontournables pour imaginer des modes de vie différents, porteurs d'un bien-être nouveau. Dans cette perspective, il ne suffit pas d'apprendre à gaspiller moins : il s'agit de produire et de consommer autrement, de se déplacer et d'habiter l'espace différemment. Le but n'est pas de combler le manque ni de gommer la perte mais bien, au contraire, d'en faire émerger du nouveau : moins de mobilité mais plus d'enracinement, moins de vitesse mais plus de présence, moins de productivité mais plus de proximité... »

Et l'on pourrait ajouter dans cette ligne : moins de solutions coercitives aux problèmes démographiques qui nous fragilisent, mais plus d'éducation des populations, plus de partage des biens et des terres, plus d'accueil.

On ressent en lisant *La génétique du péché originel* la profondeur de l'angoisse qu'éprouve de Duve face aux problèmes qui pèsent sur la vie des générations futures. Cette angoisse rappelle, à bien des égards, celle qu'exprimait

41. Cette solidarité peut être comprise dans un sens darwinien : cfr F. de Waal « L'Âge de l'empathie, Leçons de la nature pour une société solidaire », Paris, LLL, 2010.

42. É. Lasida, « La fragilité en économie : chance ou menace ? » in *La fragilité : faiblesse ou richesse ?*, Paris, Albin Michel, 2009, p. 62.

Pierre Teilhard de Chardin durant la Grande Guerre lorsque, dans ce texte saisissant intitulé « La grande monade », il évoquait le flux démographique en disant⁴³ :

« ... le flux n'a pas cessé de monter ; et maintenant il recouvre la Terre. Les hommes d'aujourd'hui se touchent partout ; partout ils se serrent. Comme un alliage brûlant, leur masse encore [tumultueuse] agitée de soubresauts et secouée d'explosions, n'a plus qu'à chercher les lois de son équilibre interne. »

Mais la solution de Teilhard débouche sur une autre solution : la pression démographique intense peut contribuer à briser les sphères de l'égoïsme et de l'isolement en poussant les hommes à s'aimer :

« J'imagine que l'Humanité, quand elle aura compris, en bloc, qu'elle est scellée sur soi, et que sur soi seule au monde (sinon dans les cieux) elle peut compter pour se sauver (expérimentalement, bien entendu), sentira d'abord passer un immense frisson de charité interne [...] Si la pression d'une grande nécessité commune arrivait à vaincre nos répulsions mutuelles et à briser la glace qui nous isole, qui peut savoir quel bien-être et quelle tendresse ne sortirait pas de notre multitude harmonisée ? – Quand ils se sentiront réellement seuls au monde, les hommes (à moins qu'ils ne s'entredéchirent) commenceront à s'aimer. »

Le « spinozisme » de Christian de Duve

Par certain traits, la conception de de Duve évoque la philosophie de Spinoza. Le vide laissé par l'abandon des thèses chrétiennes énoncées ci-dessus se trouve en effet naturellement comblé par une telle pensée. Par exemple, la thèse centrale du refus de « l'évangile de la contingence » pourrait être rapprochée du passage suivant de l'Éthique (I, proposition XXIX)⁴⁴ :

« Dans la nature, il n'y a rien de contingent, mais tout est déterminé par la nécessité de la nature divine à exister et agir, selon un mode précis (*ad certo modo existendum et operandum*). »

43. P. Teilhard de Chardin, *Écrits du temps de la guerre (1916-1919)*, Paris, Grasset, 1965, pp. 242-243.

44. L. Millet, *Première leçons sur l'Éthique de Spinoza (avec la traduction de la première partie de l'Éthique)*, Paris, P.U.F., 1998, pp. 91-92

Son opposition au finalisme⁴⁵ et sa conception de la nécessité rapprochent également le Prix Nobel du philosophe hollandais. On pourrait dire aussi que les deux hommes s'accordent parfaitement quant à leur refus de tout anthropomorphisation de Dieu. En réalité le refus du finalisme et de cet anthropomorphisation sont liés, car ils procèdent tous les deux d'une projection illégitime, selon de Duve et Spinoza, de qualités humaines sur la nature ou bien sur Dieu⁴⁶. Pour Spinoza comme pour de Duve, c'est d'une certaine manière porter atteinte à Dieu, c'est une « suprême arrogance » pour employer les termes de ce dernier, que d'identifier la divinité à nos indigences et à nos limites.

Remarquons au passage, que la position du Professeur de Duve, comme celle de Spinoza d'ailleurs, ne peut être confondue avec un panthéisme au sens strict. En effet, il n'y a pas trace ici d'une quelconque religion de la nature. Les religions sont au fond, chez le Prix Nobel de médecine, l'une des expressions possibles de l'émerveillement et du recueillement admiratif de l'homme pour cette Ultime réalité, à côté d'une série d'autres comme l'art ou la science. Christian de Duve rejoint Spinoza dans son respect de l'expérience religieuse et de la religion. Mais il s'agit d'une religion indépendante de tout dogme et de toute église particulière.

Les rapprochements que nous venons d'esquisser ne doivent pas être poussés trop loin car de Duve n'a jamais voulu développer une « philosophie » systématique. Il s'agit seulement de mettre en consonance certains accents communs et non de qualifier purement et simplement le Prix Nobel de médecine de « spinoziste ». D'ailleurs cette consonance a des limites et cela pour les mêmes raisons que donne Denis Collin, de l'Université de Rouen, pour démarquer les pensées de Spinoza et d'Einstein⁴⁷, dont on connaît pourtant les réelles affinités. Pour le célèbre physicien comme pour de Duve, la réalité

45. Pour une analyse de cet aspect de la pensée de Spinoza nous renvoyons ici à l'ouvrage de C. Duflo, *La finalité dans la nature. De Descartes à Kant*, Paris, P.U.F., 1996, pp. 37-50.

46. Spinoza dit : « Le vulgaire conçoit Dieu comme un homme ou à l'imitation de l'homme » (*Éthique*, II, 3, scolie) ; cité de C. Duflo, *op. cit.*, p. 49.

47. « Si quelque chose mérite notre émerveillement, c'est la capacité de la raison à comprendre l'ordre naturel. (C'est) cette capacité qui nous remplit de joie, selon Spinoza. Ici, Einstein a une position sensiblement différente. Pour lui, le sentiment religieux cosmique naît d'un mystère : « Ce qui est incompréhensible, c'est que le monde soit compréhensible ». Ce qui nous met en garde contre des parallèles trop hâtifs entre les deux grands penseurs » (« Le Dieu de Spinoza » in « Le Dieu des savants », *Sciences et Avenir*, Hors-série, Décembre 2003/Janvier 2004, p. 24).

comme telle reste largement « mystérieuse »⁴⁸. Pour de Duve, les raisons en sont que nos facultés cognitives et perceptives sont limitées et ne nous permettent certainement pas d'espérer rendre transparente à la raison toute la profondeur de l'Ultime réalité. Il ne faudrait pas non plus confondre, malgré quelques résonances superficielles, ce que nous dit de Duve de l'appréhension de la réalité dans l'expérience esthétique ou mystique avec la connaissance spinoziste dite « du troisième genre ». En effet, comme cette dernière, bien qu'intuitive, reste parfaitement dans le champ de la rationalité « (l') on commettrait donc une erreur assez grave et finalement on trahirait l'ensemble de l'inspiration spinoziste si l'on tentait de voir, dans la connaissance du troisième genre, autre chose qu'un exercice de la raison ».

Au fond, la position de de Duve semble plus proche de celle d'Einstein⁴⁹ dont la couleur spinozienne est bien connue et avouée par le père de la relativité⁵⁰.

Le *Deus sive Natura* de Spinoza, qui s'identifie bien à l'Ultime réalité de de Duve, rejoint parfaitement la conception qu'Einstein se fait de Dieu quand il dit⁵¹ :

« Tout homme sérieusement impliqué dans la recherche scientifique devient convaincu qu'un esprit se manifeste à travers les lois de l'Univers - un esprit largement supérieur à celui de l'homme. »

Et le passage suivant de la dernière lettre de Michele Besso à Einstein, le 29 janvier 1955, pourrait, nous semble-t-il, entrer en harmonie avec certains traits essentiels de la conception de Duvienne⁵²:

48. « La plus belle chose que nous puissions éprouver, c'est le côté mystérieux de la vie. C'est le sentiment profond qui se trouve au berceau de l'art et de la science véritables. Celui qui ne peut plus éprouver ni étonnement ni surprise est pour ainsi dire mort ; ses yeux sont éteints. L'impression du mystérieux, mêlée de crainte, a créé aussi la religion... » (A. Einstein, *Comment je vois le monde*, Paris, Flammarion, 1939, p. 12).

49. Nous renvoyons le lecteur aux très bons livres de Michel Paty, *Einstein philosophe*, Paris, P.U.F., 1963 ; *Einstein ou la création scientifique du monde*, Paris, Les Belles Lettres, 1967.

50. « Je crois au Dieu de Spinoza qui se révèle dans l'harmonie de tout ce qui existe, mais non en un Dieu qui se préoccuperait du destin et des actes des êtres humains » (A. Einstein, *Pensées intimes* (éd. par A. Calaprice ; préf. de F. Dyson ; trad. par Ph. Babo), Anatolia/Éditions du Rocher, 2000 (Princeton University Press, 1996).

51. *Pensées intimes*, *op. cit.*, p. 139.

52. A. Einstein, *Correspondance avec Michele Besso. 1903-1955* (trad., introd. par P. Speziali), Paris, Hermann, 1979, p. 311.

« Ne reconnaissant pas l'idée courante judéo-chrétienne de Providence -c'est-à-dire celle d'une instance suprême agissant intentionnellement selon des buts humains - tu fais profession d'admettre le Dieu de Spinoza ; voilà qui m'a poussé à prendre en main une nouvelle fois l'*Éthique* dans l'édition de la *Deutsche Bibliothek* de Berlin, publiée par Arthur Buchenau.

Ce qui est important pour moi personnellement, c'est le refus tranchant que mon père opposait à toute représentation ou même dénomination de Dieu (en quoi sa pensée était tout à fait conforme à la Thora... « Tu ne te feras pas d'image ni aucune représentation... ») ; il ne subsiste alors que le seul concept de loi naturelle, ce qui revient pour moi à donner un sens à la recherche elle-même, à reconnaître à côté de l'expérience immédiate des sens une valeur à la représentation libre de toute contradiction qu'ils nous donnent, à poser en face de l'Être englobant toutes choses, mesuré à l'aune *et* à celle de notre critique, notre propre être spirituel... porte ouverte sur une Beauté reconnue, Joie, Reconnaissance, Bonté... Sur d'autres genres de Vérité, de Bonté et de Beauté... »

Épistémologiquement et scientifiquement, Einstein défend un réalisme et un déterminisme en grande partie analogues à ce qui colore la position de Deuve. Sur un plan « théologique », Einstein rejette aussi catégoriquement et à plusieurs reprises l'idée d'un Dieu personnel et il y voit, de plus, la cause principale des conflits religieux. Comme chez Spinoza et de Deuve, Einstein, s'oppose à une attitude anthropomorphique qui consisterait à transférer naïvement sur Dieu des caractéristiques ou des désirs « simplement » humains. La manière d'aborder la Bible est aussi étrangement similaire chez Spinoza⁵³, Einstein⁵⁴ ou de Deuve. Il s'agit d'une exégèse littérale qui confronte sans médiation herméneutique les contenus scientifiques avec le contenu scripturaire.

Comme le recommande de Deuve, Einstein non plus n'entend pas supprimer les prêtres et les religions auxquels il veut conserver une fonction liée étroitement à un ordre de valeurs : le Bien, le Vrai, le Beau. Il veut en métamorphoser les fonctions en maintenant fermement ce refus radical d'un Dieu personnel⁵⁵ :

53. Cfr E. Bréhier, *Histoire de la philosophie. III/XVII^e-XVIII^e siècles*, Paris, P.U.F., 1981, p. 170.

54. « Par le biais de la lecture de livres de vulgarisation scientifique, j'ai bientôt acquis la conviction qu'une grande partie des récits de la Bible ne peuvent être véridiques. (...) Une suspicion face à tout type d'autorité est issue de cette expérience (...) une attitude qui ne m'a jamais quittée » (*Pensées intimes, op. cit.*, p. 145).

55. A. Einstein, *Conceptions scientifiques, morales et sociales* (trad. par M. Solovine), Paris, Flammarion, 1952, pp. 32-33.

« Dans leur lutte pour le bien moral les ministres de la religion doivent avoir la hauteur de vue d'abandonner la doctrine d'un Dieu personnel, c'est-à-dire d'abandonner cette source de crainte et d'espérance qui rendait dans le passé les prêtres si puissants. Dans leur effort ils devront mettre à profit les forces qui sont capables de cultiver le Bien, le Vrai et le Beau dans l'humanité. C'est là assurément une tâche plus difficile, mais incomparablement plus digne. Après que les ministres de la religion auront accompli le travail d'épuration ici indiqué, ils reconnaîtront certainement avec joie que la vraie religion a été ennoblie et rendue plus profonde par la connaissance scientifique. »

L'attitude « religieuse » d'Einstein est celle d'une contemplation de l'Univers, celle d'une admiration soutenue par « la confiance en la nature rationnelle de la réalité »⁵⁶. Quand le père de la relativité affirme qu'il est « un incroyant profondément religieux », il n'est pas très loin nous semble-t-il de la position de de Duve, qui refuse l'agnosticisme, l'athéisme, sans pour autant adopter l'attitude des croyants des religions révélées. Einstein et de Duve ne veulent plus de la religion, mais au fond ils ne tiennent pas à se départir d'une forme de « religiosité cosmique ». Pour ce qui est de Duve, il s'écarte avous-nous vu du contenu de la dogmatique chrétienne, mais il tient souvent à faire remarquer qu'il ne nie pas la positivité d'une morale d'inspiration évangélique. Cependant, on peut se demander si la forme « d'égoïsme sage » fondée sur la prise en compte des conditions à long terme de vie de l'humanité et animant une forme d'eugénisme doux, est vraiment cohérente avec cette inspiration ?

Conclusion

Nous voyons que les derniers livres de Christian de Duve déploient une vision qui passe graduellement d'une description de la réalité en totalité, d'une philosophie de la nature « optimiste » si l'on veut, à une éthique quelque peu « pessimiste », provoquant un appel à la responsabilité de l'humanité actuelle vis-à-vis des générations futures. On passe en effet d'une vision positive et profonde du cosmos, avec la figure de l'Ultime réalité, à une image angoissante du futur de l'humanité. Ce qui est intéressant ici, c'est que l'apparition progressive des thèmes de réflexion abordés par Christian de Duve suit un plan classique d'exposition des contenus fondamentaux de la théologie chrétienne : Dieu, la Création, la faute, l'Incarnation, la Rédemption. Chacun de

56. *Pensées intimes, op. cit.*, p. 142.

ces thèmes apparaissant comme vidé de sa signification véritablement transcendante et de son contenu proprement chrétien. « Sous » la vision philosophique déployée progressivement dans les ouvrages de Duve, on pourrait voir à l'œuvre une sorte de fil conducteur qui ne serait autre qu'une sécularisation radicale du schéma théologique chrétien, mais dont le plan et les concepts gardent implicitement ou explicitement une « couleur » chrétienne. Dans ce sens, la position du « Nobel » est bien « non-croyante », dans la mesure où son expression se réalise comme une négation point à point des éléments fondamentaux de la foi chrétienne, suivant un plan classique d'exposition de ceux-ci. Cette « non-croyance » pose alors, comme chez Darwin d'ailleurs, la question de savoir si la représentation du christianisme et des contenus dogmatiques qui sont précisément refusés ou niés correspond à celle que se font aujourd'hui les théologiens des diverses confessions chrétiennes ? Nous n'entrerons pas dans ce débat qui mériterait sans doute une analyse détaillée mais qui sort certainement du cadre de cette petite contribution. Nous avons simplement montré que de Duve s'éloigne du christianisme en se rapprochant du « spinozisme des scientifiques », de ce monisme qui est souvent la philosophie implicite des scientifiques contemporains qui, tout en niant un Dieu transcendant et personnel, ne veulent pas renoncer à toute valeur des transcendants : l'un, le vrai, le bien, le beau. Mais il y a un problème central qui apparaît et qui reste comme une énigme dans le monisme adopté par de Duve. Comment donner un contenu et un fondement à ces transcendants auxquels on ne veut pas renoncer ? Comment justifier par exemple qu'il est « bien » de s'occuper du sort des générations futures plutôt que de suivre la pente d'un égoïsme individuel ou social ? Comment fonder en fin de compte la sagesse que de Duve appelle désespérément de ses vœux ? La biologie seule semble, chez lui incapable de fournir une réponse à cette question. Dans ce sens, de Duve n'est pas un naturaliste radical ! Mais alors, ne faudrait-il pas en conclure que la solution et la sagesse proposées par de Duve sont seulement des options, qu'elles ne s'imposent pas rationnellement et fondamentalement ? Pourquoi devrions-nous les adopter ? Nous touchons là un problème central : celui du fondement du contenu du « Bien ». Dans le cadre d'un monisme qui entend préserver la valeur des transcendants et ne pas en faire le produit d'une construction sociale, qu'est-ce qui nous permet d'exhiber ultimement les contours et le contenu de ce qui serait « bien », de mettre en évidence les frontières entre la barbarie et le respect de la personne humaine ? L'intérêt de la pensée récente de de Duve est de nous ramener à cette question, implicite-

ment certes, en nous montrant que la grande question du monisme, celui de Spinoza, mais aussi celui d'Einstein et de Changeux est celle qui surgit lorsqu'ayant renoncé à une radicale transcendance, le scientifique et le philosophe monistes se retrouvent devant l'énigme du fondement de leur propre liberté, de leur soif de vérité et leur aspiration au bien et au beau⁵⁷. Il y a aussi une question que nous ne pouvons pas nous empêcher de poser en lecteur assidu de l'œuvre de Duve: pourquoi son monisme de l'Ultime réalité ne l'a-t-il pas conduit à un fondamental optimisme ? Y aurait-il comme une connexion profonde et nécessaire entre son monisme ontologique et le pessimisme de son éthique ? L'ultime réalité pourrait-elle soutenir un optimisme foncier de l'humanité ? L'œuvre de de Duve, qui exprime une pensée sans cesse en évolution, nous invite ici à reprendre une étude détaillée du monisme philosophique et de ses liens avec l'éthique⁵⁸. La trajectoire intellectuelle du biologiste retrouverait ici de manière significative les enjeux du dialogue qu'avaient initiés il y a quelques années le neurophysiologiste Jean-Pierre Changeux et le philosophe Paul Ricoeur dans *La nature et la règle*⁵⁹.

57. On retrouve ici sous une autre forme l'un des constats formulés par le théologien allemand Medard Kehl dans son ouvrage « *Et Dieu vit que cela était bon* ». *Une théologie de la création*, Paris, Cerf, 2008, Cogitatio Fidei n°264, p. 441 : les philosophes et scientifiques, dans la veine réductionniste ou moniste « n'éliminent Dieu (celui du christianisme) qu'au prix d'une élimination préalable de l'homme. Tous les arguments qu'ils avancent contre l'existence de Dieu sont en même temps des arguments contre une image traditionnelle de l'homme compris comme un être doué de raison et de liberté... » Le choix d'un monisme entraîne par le fait même une interrogation fondamentale d'ordre anthropologique (qu'est-ce que l'homme ?) et éthique (qu'est-ce qui fonde le libre arbitre et la responsabilité morale ?)

58. On pourrait renvoyer ici aux analyses d'Henri Hude dans *Prolégomènes. Les choix humains*, Paris, Parole et Silence, 2009, pp. 149-162.

59. Paris, Odile Jacob, 1998. On retrouvera entre autre l'avis de Paul Ricoeur sur le « péché originel » pp. 321-324.

Christian de Duve et la découverte des lysosomes et des peroxysomes

ROBERT WATTIAUX
Université de Namur
robert.wattiaux@hotmail.com

Il y a quelques années, on m'avait demandé de faire une présentation du professeur Christian de Duve lors d'un symposium qui se tenait aux Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix. J'avais choisi de distinguer trois étapes dans la remarquable carrière scientifique de Christian de Duve, je les avais intitulées : la période insuline, la période des structures subcellulaires et la période de l'étude du vivant, chacune correspondant à un intérêt particulier de Christian de Duve. Je m'attacherai dans mon texte actuel à la période des structures subcellulaires que j'ai connue pendant mes années d'étudiant chercheur et de chercheur au laboratoire de chimie physiologique de l'Université Catholique de Louvain. Il s'agit à mon avis de la période la plus glorieuse des recherches de Christian de Duve, celle qui le conduira au Nobel. La façon dont la brusque transition avec les recherches sur l'insuline s'est opérée a été décrite de multiples fois, comment une observation fortuite a conduit Christian de Duve à changer de cap dans ses travaux. Je voudrais insister sur le fait que la rupture entre les deux périodes n'a pas été tellement brutale.

Découverte des lysosomes et des peroxysomes

C'est en étudiant par la technique de centrifugation, la localisation subcellulaire d'une enzyme dans le foie : la glucose- 6-phosphatase, impliquée dans le métabolisme du glucose, métabolisme dépendant de l'insuline que

Christian de Duve a été appelé à modifier ses objectifs de recherche et à entreprendre les travaux qui ont conduit à la découverte de deux nouvelles structures subcellulaires : les lysosomes et les peroxysomes.

Comme l'illustre l'exposé délivré à Stockholm par Christian de Duve lors de la cérémonie de remise du prix Nobel de Médecine et de Physiologie : « Exploring cells with a centrifuge » (1), la découverte de ces structures de la cellule, a été permise grâce au perfectionnement réalisé par Christian de Duve et son équipe, tant sur le plan théorique que pratique, d'une méthode existante et déjà utilisée dans l'étude de la structure des cellules : la méthode de centrifugation. Cette méthode permet non seulement d'isoler les structures subcellulaires mais de caractériser certaines de leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles. Elle se base sur le comportement dans un champ centrifuge d'un organe en fonction de sa taille, sa densité et sa forme. C'est en développant l'approche analytique de cette méthode, en introduisant de nouveaux concepts utilisés dans de très nombreux laboratoires dans la suite: enzymes de référence d'une structure permettant de la dépister sans qu'il soit besoin de la voir, postulat d'homogénéité biochimique, bilan d'une analyse par centrifugation, etc. que les lysosomes ont été découverts. D'une façon générale, on peut certainement dire que le développement de la méthode de centrifugation au laboratoire de Christian de Duve à Louvain a contribué de façon majeure, avec la microscopie électronique, à la connaissance de la structure et du fonctionnement de la cellule. Il faut bien noter que la découverte des lysosomes et des peroxysomes a été réalisée sans l'appui de techniques morphologiques, sans « voir » ces organites. Leur existence a été proposée sur la base du comportement d'enzymes mesurées sur des organites isolés par centrifugation, comportement qui laissait supposer que ces enzymes ne pouvaient être localisées dans des structures subcellulaires connues à l'époque, les mitochondries en particulier.

La notion d'enzyme de référence (Fig 1) introduite par Christian de Duve a été ici essentielle. Une enzyme de référence est une enzyme localisée spécifiquement dans une structure subcellulaire déterminée. Une enzyme de référence permet de détecter une particule non pas par une méthode morphologique à l'aide d'un microscope mais bien par une méthode biochimique basée sur la mesure d'une enzyme qu'elle contient. En bref, en mesurant la quantité d'une enzyme de référence dans une préparation de structures subcellulaires hétérogène (mitochondries, noyaux, etc.), il est possible de détecter les structures

auxquelles l'enzyme de référence est associée. On suppose, d'une part, que la concentration d'une telle enzyme est la même dans toutes les particules qui la contiennent, que celles-ci soient petites ou grosses (postulat d'homogénéité biochimique) (Fig. 1). On suppose également que l'enzyme n'est présente que dans un seul type de particule (postulat de localisation unique). Par conséquent, la mesure de cette enzyme permet de détecter quantitativement la présence d'une particule dans une préparation d'organites subcellulaires sans que des examens morphologiques ne soient effectués.

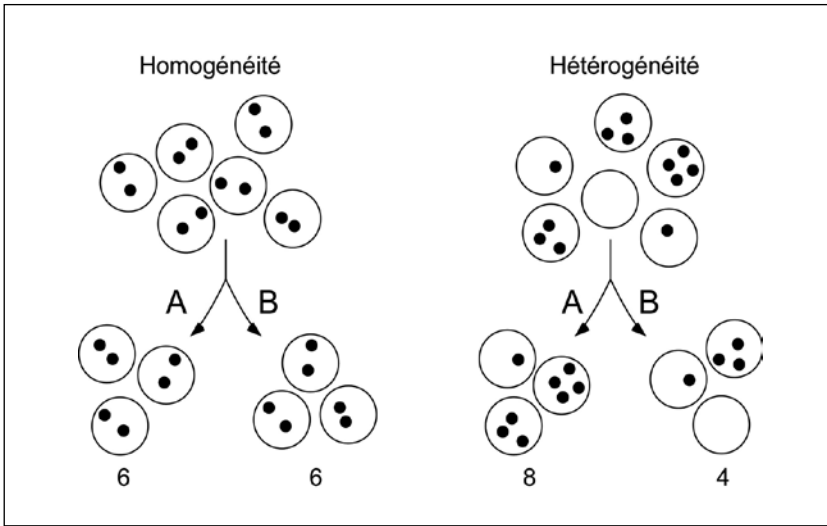


Fig. 1 Postulat d'homogénéité biochimique.

Pour simplifier, il est supposé que les structures subcellulaires (les lysosomes par exemple) sont de même taille et de même masse. Une enzyme localisée dans ces organites se retrouve dans chaque structure soit en quantité identique (homogénéité biochimique), soit en quantité différente (hétérogénéité biochimique). Dans notre exemple, la population initiale contient 12 molécules d'enzyme soit en quantité semblable (2) dans chaque particule, soit en quantité différente (4, 3, 1, 0) ; si l'on suppose que la population est divisée en deux fractions, par exemple par centrifugation, la quantité de particules dans chaque fraction est directement proportionnelle à la quantité de molécules d'enzyme (activité enzymatique) si le postulat d'homogénéité biochimique est respecté. Ce n'est pas le cas s'il y a hétérogénéité biochimique. S'il y a homogénéité biochimique et si l'enzyme est uniquement présente dans ce type de particule (postulat de localisation unique), l'enzyme peut servir de référence (enzyme de référence) pour cette particule. La mesure de son activité permettra de détecter quantitativement cette particule dans un mélange de particules différentes.

Un autre type d'examen biochimique a été très utile pour la découverte des lysosomes et des peroxysomes. Il s'agit de la mesure de la latence enzymatique liée à une structure (*structure linked latency*) (Fig. 2). L'activité d'une enzyme dans une préparation de structures subcellulaires peut être latente, ne se manifester que faiblement « in vitro » parce que la membrane qui entoure cette structure est peu perméable au substrat de l'enzyme présent dans le milieu extérieur. Cette activité pourra être fortement augmentée si l'on traite la préparation avec des agents capables de perméabiliser cette membrane (hypotonie, détergents, etc...). Dès les premiers travaux qui ont conduit à la découverte des lysosomes, cette propriété de latence a été mise en évidence pour une hydrolase, la phosphatase acide, et est une des observations les plus déterminantes dans la découverte de ces organites. Elle permettait de proposer que cette enzyme était à l'intérieur d'organites. Les travaux de centrifugation allaient démontrer qu'il s'agissait des lysosomes. La phosphatase acide a été pendant longtemps l'enzyme vedette de ces structures. Mais cette mesure de la latence liée à une structure a été très utile pour découvrir d'autres enzymes lysosomales, tout simplement en comparant leur activation à celle de la phosphatase acide, sous l'influence d'agents capables de léser une membrane biologique.

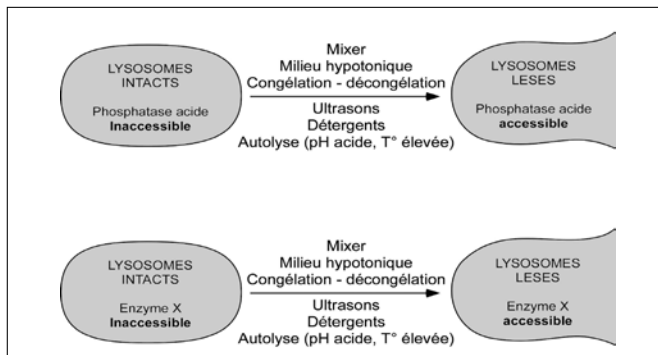


Fig. 2. Latence enzymatique .

Si une enzyme, la phosphatase acide par exemple, est enfermée dans une structure subcellulaire dont la membrane est imperméable à son substrat, elle ne pourra avoir accès à ce substrat et donc exprimer une activité que si la membrane est perméabilisée soit par un détergent, un traitement mécanique, etc. Dans les conditions normales, l'enzyme est latente (latence enzymatique.) Une enzyme X localisée dans cette même structure, manifestera également cette propriété de latence. La comparaison de la latence d'une enzyme à localisation subcellulaire inconnue avec la latence d'une enzyme lysosomale par exemple, permettra de déterminer si l'enzyme en question est localisée dans les lysosomes.

Plus tard, la microscopie électronique a donné aux lysosomes et aux peroxyosomes une réalité morphologique et a permis qu'ils soient en quelque sorte « visibles ». On a parfois comparé la découverte des lysosomes et des peroxyosomes à celle faite par l'astronome Le Verrier en 1846. Ce savant avait prédit l'existence d'une planète, qui sera appelée Neptune, par la méthode des calculs et non par l'observation. Comme l'écrivait Arago, « Mr. Le Verrier vit le nouvel astre au bout de sa plume ». En remplaçant méthode de calcul par méthodes biochimiques cette phrase pourrait être transposée à la découverte des lysosomes et des peroxyosomes près d'un siècle plus tard.

Fonctions des lysosomes

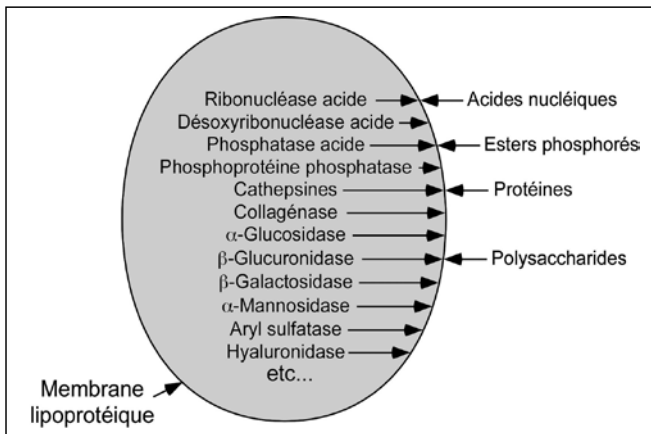


Fig. 3 . Représentation schématique d'un lysosome.

Le lysosome est une structure subcellulaire qui contient une cinquantaine d'hydrolases acides c'est-à-dire qui expriment un maximum d'activité en milieu acide tel le milieu intralysosomal. Ces hydrolases sont capables de catalyser l'hydrolyse, la dégradation de toute une série de molécules biologiques : protéines, polysaccharides , etc.

Pour abrégé, je me limiterai ici à décrire brièvement la fonction des lysosomes sans faire mention des peroxyosomes. Pour Christian de Duve, l'intérêt de découvrir une nouvelle structure subcellulaire, ne s'arrête pas à la découverte elle-même et à l'analyse des propriétés physicochimiques et morphologiques de cette structure. Il se pose immédiatement la question de la fonction d'une telle structure et de sa dysfonction éventuelle dans des situations pathologiques. Le cas du lysosome est tout à fait typique à cet égard. Ce nouvel

organite ne semblait contenir que des enzymes hydrolytiques, des enzymes de dégradation capables de démolir la plupart des composants d'une cellule, donc de la tuer (Fig. 3). Par conséquent, dans une situation normale, de telles enzymes ne devraient pas avoir normalement accès à ces composants. Le lysosome résout le problème en séquestrant ces enzymes dangereuses dans un compartiment séparé du reste de la cellule. Évidemment isolées ainsi, à quoi ces enzymes peuvent-elles servir?

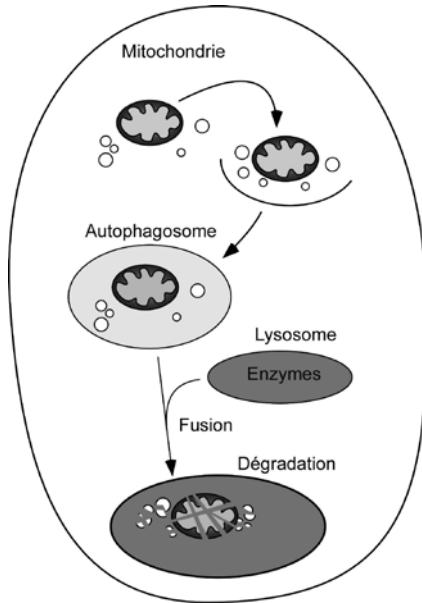


Fig. 4. Fonction hétérophagique des lysosomes.

La fonction hétérophagique des lysosomes s'exerce sur des molécules, des virus, des bactéries qui pénètrent dans la cellule par endocytose. L'endocytose permet l'internalisation de composés extracellulaires grâce à une invagination de la membrane plasmique suivie de la formation d'une vésicule qui va isoler le composé capté. Après un cheminement dans un système membranaire fermé (endosomes), le composé va être déversé dans les lysosomes grâce à des processus de fusion membranaire. S'il peut être dégradé par les enzymes lysosomales, il sera transformé en petites molécules qui pourront diffuser à travers la membrane des lysosomes et éventuellement alimenter le métabolisme cellulaire. S'il est « indigeste », il s'accumulera à l'intérieur des lysosomes et conduira à une situation pathologique résultant de l'engorgement des lysosomes.

C'est en imaginant une relation possible entre les lysosomes et des phénomènes connus: la phagocytose découverte par Metchnikoff au début du xx^e siècle et la pinocytose décrite par Lewis, je crois dans les années 1930, que

Christian de Duve a proposé une fonction possible pour les lysosomes. La phagocytose et la pinocytose (appelées actuellement d'un terme général, l'endocytose) permettent à des molécules extracellulaires et à des entités plus complexes, bactéries, virus, d'entrer dans la cellule tout en restant isolées du milieu intracellulaire grâce à des vésicules dans lesquelles elles sont enfermées dès leur entrée dans la cellule. Après internalisation dans la cellule, ces composés sont dégradés. Christian de Duve a proposé que cette dégradation était effectuée par les enzymes lysosomales grâce à une fusion des lysosomes avec les vésicules de pinocytose et de phagocytose permettant un déversement de leur contenu dans les lysosomes (Fig. 4). Évidemment, dans ces conditions, les enzymes lysosomales pourront exercer leurs effets destructeurs, dans un espace clos, sans que le restant de la cellule n'en souffre.

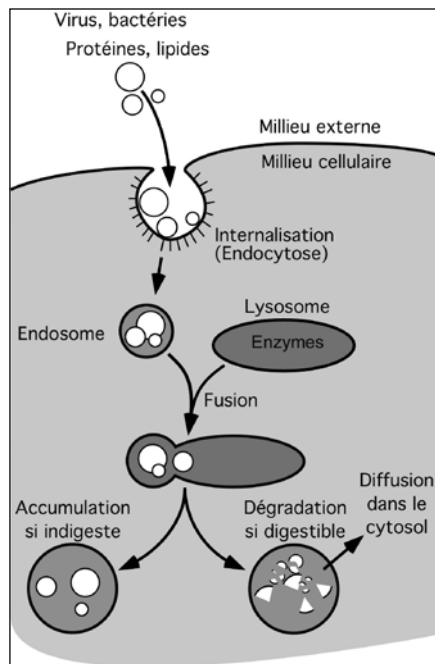


Fig. 5. Fonction autophagique des lysosomes.

La fonction autophagique des lysosomes consiste en une dégradation de composés propres de la cellule par les enzymes lysosomales. Des territoires intracellulaires sont isolés par une membrane avec formation d'autophagosomes. Ces territoires peuvent contenir des éléments structurés de la cellule : mitochondries, fragments de reticulum endoplasmique, etc. Les autophagosomes fusionnent avec les lysosomes permettant aux enzymes lysosomales de dégrader leur contenu.

En fait, les lysosomes se comporteraient comme de petits estomacs intracellulaires, à l'intérieur desquels une digestion de protéines, sucres, graisses se produirait. Cette hypothèse a tout à fait été vérifiée dans la suite. Plus tard, on a pu démontrer qu'un processus du même genre était impliqué dans la dégradation de composants propres de la cellule. Il s'agit de l'autophagie (Fig. 5). Ici, ce sont des molécules faisant partie de la cellule qui sont isolées dans une vésicule, à l'intérieur de la cellule, vésicule qui ira fusionner avec un lysosome permettant ainsi à son contenu d'être dégradé par les enzymes lysosomales.

Le lysosome est donc une structure digestive intracellulaire qui permet la dégradation de molécules extra- et intracellulaires sans que la cellule n'en souffre. Le catabolisme intra- lysosomal joue un rôle dans toute une série de fonctions physiologiques sur lesquelles je n'ai pas le temps de m'étendre ici.

Lysosomes et pathologie

On peut imaginer que dans certaines circonstances pathologiques, cette fonction des lysosomes soit affectée. Et la première idée de Christian de Duve à ce sujet est que la membrane du lysosome puisse se détériorer, se rompre à l'intérieur de la cellule, avec comme conséquence catastrophique: une libération de ses enzymes lytiques qui ne manqueront pas de démolir les constituants de la cellule, condamnant celle-ci à mourir. C'est la célèbre hypothèse du lysosome en tant que "suicide bag", hypothèse qui a eu beaucoup de succès et qui est revenue à l'honneur ces dernières années depuis la découverte ou la redécouverte de l'apoptose, le suicide programmé de la cellule. L'apoptose est un processus qui permet à la cellule de s'autodétruire pour des raisons physiologiques, donc pour le bien de la cellule. Dérégulée, elle pourra également être impliquée dans des situations pathologiques, comme le cancer, l'hépatite fulminante, etc. Il existe actuellement un nombre important de publications qui tendent à démontrer que les lysosomes ont un mot à dire dans ce processus en tant que "suicide bag". L'apoptose pourrait, dans certains cas, faire appel à une libération intracellulaire d'enzymes lysosomales. Il est un autre domaine de la pathologie qui concerne directement les lysosomes au point que les maladies qu'on y rencontre portent le nom de maladies lysosomales, maladies résultant de l'absence, pour des raisons génétiques, d'une enzyme lysosomale. Dans ces conditions certaines molécules, lipides complexes, glycogène par exemple ... qui ont abouti aux lysosomes où elles devraient normalement être dégradées

s'accumulent à l'intérieur de ces organites, puisque l'enzyme lysosomale qui devrait les dégrader est absente. En résulte un véritable engorgement des lysosomes, perturbant profondément le fonctionnement de la cellule. Un exemple expérimental est illustré à la Fig. 6.

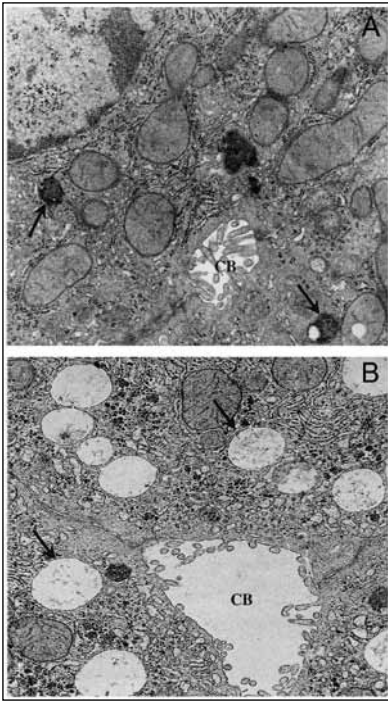


Fig. 6. Maladie lysosomale : un exemple expérimental.

Une maladie lysosomale résulte d'une accumulation dans les lysosomes d'un composé qui ne peut être dégradé, soit du fait de sa structure (composé « indigeste »), soit parce que l'enzyme lysosomale nécessaire pour cette dégradation est absente pour des raisons génétiques. L'exemple expérimental présenté dans la figure 6, illustre l'aspect des lysosomes dans le foie d'un animal normal (A) et dans le foie d'un animal ayant reçu une injection d'une substance, le Triton WR 1339 (B). Cette substance ne peut être dégradée par les enzymes lysosomales et ne peut diffuser à travers la membrane des lysosomes. En conséquence, elle s'accumule dans les lysosomes qui sont dilatés et dont certaines propriétés physicochimiques sont altérées.

Les lysosomes sont indiqués par une flèche, les canalicules biliaires par CB.

J'aimerais faire ici une brève allusion à une attitude que Christian de Duve a toujours manifestée au cours de sa carrière de chercheur, même si ces travaux sont plutôt du domaine de la recherche fondamentale. Christian de Duve a toujours essayé de voir si ses découvertes apportaient du nouveau à la connaissance médicale, à la compréhension de certaines maladies et à leur traitement. Je me souviens, quand l'existence des lysosomes est apparue comme certaine, que Christian de Duve en se basant sur l'hypothèse du "suicide bag" a imaginé des expériences visant à rechercher si leur dysfonctionnement n'était pas impliqué dans les processus de nécrose ischémique, processus que l'on rencontre dans de multiples maladies et non des moindres comme l'infarctus du myocarde. C'est animé d'un tel esprit qu'il a initié des recherches sur l'utilisation possible en thérapeutique, de molécules lysosomotropes, c'est-à-dire de molécules qui après leur administration aboutissent

spécifiquement aux lysosomes. C'est finalement ce qui l'a conduit à fonder sur le site de la faculté de médecine de l'UCL, un institut mondialement connu, qui vise à intégrer la recherche fondamentale et la recherche appliquée dans le domaine médical, il s'agit de l'International Institute of Cellular and Molecular Pathology, appelé actuellement le Christian de Duve Institute of Cellular Pathology.

Souvenirs des années 1950-60

Mais où sont les neiges d'antan?

(FRANÇOIS FILLON)

On m'a demandé d'évoquer l'un ou l'autre de mes souvenirs plus personnels de la période où je faisais partie de l'équipe du laboratoire de chimie physiologique de Christian de Duve à l'UCL. J'ai commencé de travailler dans ce laboratoire tout au début de mes études de médecine en tant qu'étudiant chercheur. C'est de cette catégorie un peu particulière de scientifique, l'étudiant chercheur dont je vais brièvement parler ci-dessous.

Comme le terme l'indique, un étudiant chercheur est un étudiant qui combine ses études avec une activité dans un laboratoire de recherche. Le problème pour un tel étudiant est de répartir de façon adéquate le temps nécessaire à l'assistance aux cours théoriques et pratiques et celui requis pour la fréquentation du laboratoire de recherche. Un étudiant chercheur au laboratoire de chimie physiologique que dirigeait le professeur de Duve résolvait le problème en assistant d'une façon extrêmement réduite aux cours magistraux pour consacrer l'essentiel de son temps au travail de laboratoire. Cela pouvait poser quelques problèmes lors de la session d'examens, problèmes qui n'étaient pas insurmontables puisque ces étudiants faisaient la plupart du temps de brillants examens et obtenaient en première session la grande ou la plus grande distinction. En fait, au début des recherches de Christian de Duve sur les structures subcellulaires, ses collaborateurs étaient quasi uniquement des étudiants chercheurs. À titre d'exemple, quand je suis entré au laboratoire de chimie physiologique, en 1949 au début de ma deuxième candidature, si je ne me trompe, seul un des collaborateurs de Christian de Duve, le regretté professeur Hers, avait terminé ses études de médecine. Une situation particulière existait pour certains étudiants chercheurs du laboratoire de chimie physiolo-

gique: la possibilité de quasiment résider au laboratoire. Les locaux du laboratoire étaient situés dans le vénérable Institut de Physiologie datant du début du xx^e siècle en compagnie des laboratoires de physiologie, de pharmacologie et de biophysique. S'y trouvaient aussi, sous les toits, quelques chambres destinées à héberger des assistants et des étudiants chercheurs attachés à ces laboratoires. Ces chambres étaient vastes, dotées du chauffage central, du gaz et de l'eau courante, luxe, que n'avaient pas la plupart des chambres d'étudiants à Louvain à cette époque. Loger à l'institut de Physiologie offrait des avantages considérables. Cela permettait de travailler au laboratoire 24h sur 24 si c'était nécessaire pour réaliser une expérience puisqu'il suffisait de descendre quelques marches d'escalier pour passer de son lieu de résidence à son lieu de travail. Il est bon à ce sujet de rappeler les exigences de temps imposées par un travail de biochimie, il y a une soixantaine d'années pendant la période où les lysosomes et les peroxysomes ont été découverts au laboratoire de Louvain. Je prendrai comme exemple la réalisation d'un « test » enzymatique. En fait, il s'agit de la mesure de la vitesse d'une réaction chimique catalysée par une enzyme. Ce sont des déterminations de ce type qui associées à des expériences de centrifugation ont permis la découverte des lysosomes et des peroxysomes. La mesure de l'activité d'une enzyme nécessite fréquemment de disposer de molécules biologiques, de l'ADN, des protéines, etc, molécules qui seront transformées au cours de la réaction. Depuis déjà de nombreuses années, des firmes commerciales se sont spécialisées dans la production de ces molécules que, à l'heure actuelle, vous pouvez acheter comme vous achetez du NaCl ou de l'huile d'olive. Un coup de téléphone à la firme et vous disposez du produit parfois le jour même. À l'époque que j'ai appelée l'époque des structures sub-cellulaires, il en était tout autrement. Si vous aviez besoin d'ADN par exemple, vous deviez le « fabriquer » vous-même, en fait l'extraire, le purifier à partir d'un organe, d'un tissu. L'ADN que l'on utilisait au laboratoire à Louvain était extrait de thymus de veau (ris de veau). Il fallait donc prendre rendez-vous avec l'abattoir de la ville pour savoir quand un abattage de veaux était réalisé. Le jour en question, on prenait livraison des thymus de veau le plus rapidement possible pour éviter les dégradations post-mortem de ces organes. Ce n'est qu'après, au laboratoire, que l'extraction et la purification pouvaient commencer. Celles-ci prenaient de nombreux jours, avant que les mesures enzymatiques nécessitant l'ADN ne puissent commencer. Le matériel de laboratoire, quoique déjà performant, l'était évidemment beaucoup moins qu'actuellement. Les centrifugeuses par exemple, outils essentiels pour un tra-

vail sur les structures subcellulaires développaient des vitesses de rotation très limitées. Au début, elle n'étaient pas réfrigérées et devaient par conséquent être utilisées dans une chambre froide. Aucun enregistrement des données spectro-photométriques n'était disponible, les lectures d'absorption, minutées grâce à un chronomètre, devaient être transcrites manuellement et si nécessaire, transformées en absorbance à l'aide d'une règle à calcul, aucune calculatrice même mécanique n'était disponible. Le temps consacré au travail expérimental proprement dit pour obtenir un résultat donné était donc beaucoup plus long qu'actuellement. Doit s'ajouter à cela, le fait que le personnel technique était inexistant du moins pendant les premières années. Cela explique la nécessité à cette époque de disposer d'un temps considérable pour réaliser les manipulations expérimentales. On comprend l'avantage pour un étudiant chercheur d'habiter pratiquement au laboratoire en résidant à l'institut de Physiologie. De plus, grâce à une cohabitation pendant la plus grande partie de l'année, des liens d'amitié s'établissaient entre les résidents de l'institut, liens qui perdurent encore actuellement. J'ai eu la chance de pouvoir disposer de nombreux étudiants chercheurs pendant ma carrière à Namur et ce pratiquement dès l'établissement d'un laboratoire de recherche au département de chimie physiologique. Ces étudiants ont contribué de façon importante au développement de ce laboratoire et ont permis d'y faire régner, du moins je le crois, une atmosphère sympathique.

Je termine par le plus beau souvenir de mon époque louvaniste. Être chercheur au laboratoire de Christian de Duve avait parfois des conséquences inattendues. En 1959, était engagée au département une jeune et jolie assistante qui venait de terminer son doctorat en chimie. Elle s'appelait Simone De Coninck. Elle est devenue mon épouse et ma meilleure collaboratrice depuis maintenant près d'un demi-siècle.

Références

1—de Duve C. (1974) Exploring cells with a centrifuge, Science 189, 186-194,

Remerciements

Je remercie Michel Savels pour son aide dans la réalisation des figures

À propos de la référence à la génétique et l'épigénétique dans la vision de Christian de Duve sur l'avenir de notre espèce.

JEAN VANDENHAUTE,
Université de Namur
Jean.vandenhaute@fundp.ac.be

Préambule

Le dernier ouvrage de Christian de Duve « Génétique du péché originel. Le poids du passé sur l'avenir de la vie » connaît une grande audience. Selon la thèse que l'auteur y expose, le développement débridé de la société humaine et les conséquences néfastes qu'on en observe sont la contrepartie d'une marque génétique, acquise par sélection naturelle, qu'il qualifie métaphoriquement de « péché originel ». Le comportement suicidaire de notre espèce laisse prévoir, si rien ne change, un dénouement apocalyptique : sa disparition accompagnée d'inévitables soubresauts qui ne pourront être que dramatiques et douloureux pour nos descendants. Puisque c'est en homme de science que C. de Duve mène son analyse, il est sans doute important de bien saisir les tenants scientifiques de son propos pour tenter d'en comprendre et apprécier tous les aboutissants.

Le mot « génétique », qualificatif ou substantif, utilisé en toute connaissance de cause par le biologiste éminent qu'est C. de Duve n'est pas de l'ordre de la métaphore ou de l'image : il fait référence à ce qui, dans notre nature, est proprement essentiel et « génère » nos traits. Du reste, dans la vie courante, on associe souvent ce terme à « inévitable » ou encore, s'il s'agit d'une maladie, à

« incurable ». Le comportement n'y échapperait pas et être disculpé sous le motif : « Ce n'est pas moi, ce sont mes gènes ! » pourrait faire jurisprudence¹ : condamné par les gènes, il semblerait qu'on ne pourrait plus l'être par la justice ! Mais, si le verdict génétique est sans appel, alors devant le grand tribunal de la sélection naturelle qui juge de l'essor ou de l'extinction des espèces, la nôtre, affectée comme elle l'est dans ses gènes, n'aurait-elle plus aucun recours à opposer à la fatalité ? Or, c'est ici que, précisément, C. de Duve nous assure d'une possibilité de « rédemption » du « péché originel ». Une réaction de sagesse seule pourrait, dit-il, conjurer le destin fatidique de l'espèce. Mais, ajoute-t-il, elle ne pourra venir de la « génétique » et sera nécessairement « épigénétique ». L'auteur forge-t-il là, pour la cause, un nouveau concept ? En réalité, les termes de « génétique » et « épigénétique » sont l'un et l'autre très anciens et, bien que créés dans des contextes à l'origine distincts, ils sont aussi profondément complémentaires ; leur association par C. de Duve dans le cadre où il les utilise est parfaitement pertinente.

Le but de cette note est de préciser l'acception de ces termes, loin d'être univoques, et de montrer comment elle a évolué et évolue encore dans le panorama de la biologie actuelle.

Au préalable, nous ferons une brève évocation des conceptions fondatrices de la biologie moderne qui servent de trame à la pensée de C. de Duve.

Mendel, Darwin et la synthèse moderne.

La dernière moitié du XIX^e siècle va modifier radicalement le regard porté jusque là sur le phénomène vivant, suite à quelques avancées scientifiques majeures. Louis Pasteur, rappelons-le exclut la génération spontanée : le vivant autour de nous, procède du vivant avec ses caractéristiques, ses propriétés, disons d'un mot, sa « forme » spécifique. Toutefois, si la production de vivants ou re-production est assortie de constance (sans laquelle la classification serait vaine) elle manifeste aussi de la variation (qui rend la classification difficile). Il y a une *constance* dans les formes : les espèces existent bel et bien et l'héritage ou l'hérédité est cette part des caractéristiques d'un ascendant, transmissible à ses descendants. Mais la multiplication n'est jamais (re)production à l'identique : la *variation* est omniprésente. Elle s'observe dans la

1. Un jugement rendu en appel par la cour de Trieste a récemment allégé une peine sous le motif de « vulnérabilité génétique » du condamné.

descendance immédiate d'un couple de géniteurs donnés, comme dans la transformation des espèces à l'échelle des temps géologiques. L'hérédité et l'évolution, cette dernière entendue comme la « transformation » des formes vivantes sont donc des faits d'observation mais il aura fallu attendre Mendel et Darwin, respectivement, pour en comprendre les mécanismes. Bien que leurs explications partent de points de vue différents, l'un faisant la part belle aux facteurs (ou gènes) et l'autre au milieu, elles sont apparues congruentes et ont été réunies en une seule vaste synthèse.

On conçoit en effet aujourd'hui que la « forme » des organismes (soit l'ensemble des « caractères » qu'ils manifestent, encore désigné par le vocable de « phénotype »), résulte pour sa part héréditaire d'une « information » transmise transgénérationnellement (le « génotype »). Cette transmission aux descendants s'accompagne, on l'a dit, de certaines surprises. Dans le cas d'organismes se multipliant selon le schéma : 1 donne 2, relativement peu de variation s'observe. Les bactéries par exemple (que ni Darwin ni Mendel n'ont prises en compte) se multiplient avec une grande uniformité, à l'exception de quelques rares variants ou « mutants » apparaissant sporadiquement. Pour les organismes sexués se multipliant selon le schéma : 2 donnent 1, la variation découle essentiellement de l'apport relatif de chaque parent au bagage du descendant. Mendel découvrit que des lois président à la manière dont les caractères se distribuent aux descendants et fit l'hypothèse que chaque caractère résulterait de l'action d'une paire de déterminants ou facteurs discrets reçus l'un du père, l'autre de la mère ². En sus de cette loterie distributive des facteurs présents à la génération parentale, il peut aussi survenir, comme chez les bactéries, de la variation imprévisible³ c'est-à-dire des mutations dans la lignée germinale donnant lieu à de nouveaux déterminants ou facteurs⁴, eux-mêmes pouvant être à l'origine de formes nouvelles chez les descendants (fig.1).

-
2. Cette loterie a un support, les chromosomes porteurs des déterminants ; la distribution de ceux-ci et leurs réarrangements rendent compte des observations génétiques.
 3. À l'échelle d'un couple l'apparition d'une mutation est – heureusement en ce qui nous concerne – un évènement rarissime.
 4. Ce sont les alléomorphes ou plus brièvement les allèles.

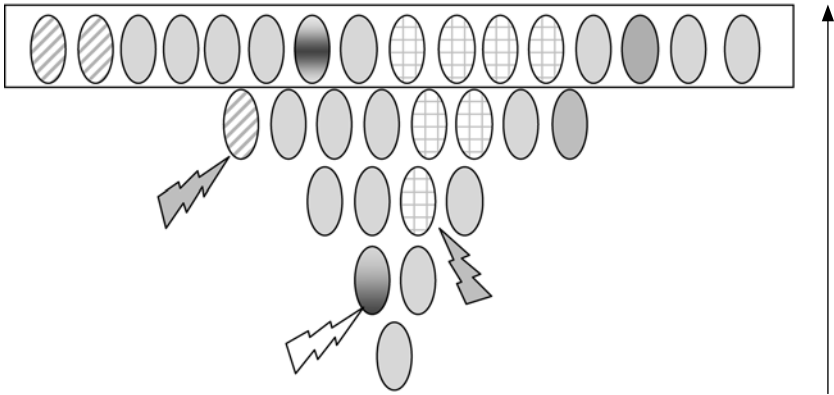


Fig. 1. Illustration de divers types de « transformation » ou « différence » héréditaire ou non.

La figure schématise la multiplication d'un organisme initial (ovale du bas) en une multitude, par générations successives au cours du temps (flèche verticale). On voit apparaître à certaines étapes des modifications héréditaires (flèches pleines) et d'autres qui ne le sont pas (un exemple est indiqué par une flèche claire mais d'autres sont non fléchés).

Si l'on adopte le point de vue de Darwin et qu'on considère à présent les descendants d'une souche de départ, mais s'étageant au fil d'innombrables générations se succédant dans le temps, comme des strates, on conçoit que la contribution de certains types d'individus d'une strate à la suivante puisse être plus ou moins importante. Les mieux « armés » dans la lutte pour la vie, selon l'expression de Spencer, se reproduiront plus. La population variera donc en conséquence : elle ressemblera moins à la population initiale et, à l'évidence, plus aux géniteurs les plus productifs. On dira qu'elle évolue (fig.1) : la souche originelle sera remplacée par d'autres variétés qui pourront éventuellement coloniser des milieux différents.

On voit comment la nouveauté fait irruption dans l'échelle des vivants : ce n'est ni par une création continue ou spontanée ni par « mérite » adaptatif des individus « ayant fait effort pour » (ce qui est l'opinion dite Lamarckiste), mais c'est par le jeu des mutations apparues au hasard et affectant certains déterminants, lesquelles, seules ou en combinaison conduisent à des organismes variants porteurs de caractères neufs sur lesquels s'exerce la sélection. Les variétés nouvelles sont sélectionnées sur le fond des variants de forme générés par les mutations. En ce sens l'évolution est bien le fruit du « hasard et de la nécessité ».

La synthèse conceptuelle Darwin – Mendel (en intégrant au passage le fait Pasteurien) conduit au début du xx^e siècle à un changement de paradigme : les caractères des vivants ne sont pas fixes et c'est la sélection naturelle qui dicte si une forme nouvelle connaîtra ou non le succès évolutif. L'espèce présente une certaine constance relative,... mais pour un temps seulement.

La biologie à partir de là, libérée du carcan stérile du créationnisme fixiste et de la génération spontanée allait pouvoir adresser sa question centrale : quels sont la nature du substrat de l'information et les mécanismes de sa variation, de sa transmission et enfin de son expression progressive, depuis l'œuf jusqu'à l'organisme donnant « forme » à l'« information » qu'il contenait. On peut dire, pour faire court, que le xx^e siècle avec l'essor de la biologie moléculaire a répondu essentiellement à cette question.

L'information est dans les gènes, nouveau nom des déterminants ou facteurs de Mendel, et ceux-ci se répandent par le flot des générations mais avec de rares accidents de réplication. Le terme gène proposé par Wilhelm Johannsen en 1909 à partir de la désinence du terme ancien « pangène » fait donc heureusement écho à celui de génétique (science de la constance – ou hérédité – et de la variation). Les gènes s'expriment en caractères et les porteurs/transmetteurs de ceux-ci sont éventuellement soumis à une pression sélective du milieu qui les filtre et, avec eux, les gènes qu'ils portent. L'histoire de l'évolution devient aussi l'odyssée des gènes, sculptés et ciselés au fil des nombreuses générations de grandes populations se succédant avec constance et variation.

La conclusion à laquelle la biologie semble nous conduire est que le gène est le responsable unitaire – et exclusif – du caractère : hérédité, évolution et développement semblent dès lors, en dernière analyse, explicables au départ de la conception génétique. C'est dans ce contexte général de la théorie synthétique classique que se situent nombre d'attendus proprement biologiques de la réflexion de C. de Duve.

La sélection d'un fardeau génétique humain, selon C. de Duve

Après ces quelques rappels on comprend que le patrimoine héréditaire de l'espèce humaine est la résultante des sélections qui se sont exercées sur nos ancêtres depuis le temps qui nous sépare des premiers primates. Dans les ca-

ractères « imprimés » aujourd'hui dans notre hérédité on retrouvera ceux qui ont avantage les géniteurs d'autrefois à chaque strate générationnelle tandis que les caractères défavorables ont été filtrés de la population par la contre-sélection des « types » porteurs. Des caractéristiques génétiques sont retenues et se répandent, d'autres s'estompent de la population. Qu'on comprenne bien toutefois que l'idée d'amélioration ou d'optimisation perpétuelle que cette description semble suggérer est inexacte. La sélection des « plus aptes » n'est une vérité que dans l'environnement où elle a lieu et n'a pas de valeur absolue (qu'on en juge par exemple avec la couleur blanche d'un pelage). S'ajoute à cela qu'une caractéristique donnée peut retentir à divers niveaux et présenter à la fois des avantages et des inconvénients, ceux-ci pouvant devenir respectivement des inconvénients et des avantages après une fluctuation du milieu. Il en résulte que si on peut assurer, par exemple, que la situation génétique présente d'une espèce telle la nôtre se modifiera certes encore dans les générations futures, le phénomène étant très lent⁵ il coexistera dans l'espèce, à tout moment, des caractères avantageux et d'autres qui ne le sont plus guère ou pour l'un ou l'autre aspect seulement, voire plus du tout.

Donc, au jour d'aujourd'hui et dans les conditions qui prévalent, l'assortiment génétique d'une espèce est une balance de caractères avantageux et d'autres qui peuvent présenter des facettes désavantageuses⁶. Cette situation est heureuse car une souche ou espèce qui serait « parfaitement adaptée » à un moment donné dans son milieu mais qui serait fixe ou immuable, serait de ce fait condamnée à terme à l'extinction et sans laisser de descendant d'aucune sorte.

C'est dans cette logique évolutionniste que C. de Duve développe son analyse. Ce qu'il appelle « l'égoïsme de groupe » est comme une extension de la solidarité nécessaire au niveau familial. Avantageux, il s'est imprimé géné-

-
5. La lenteur de l'élimination d'un caractère désavantageux pour le présent mais qui serait avantageux dans une autre circonstance permet la survie dans un milieu fluctuant. Notons que notre espèce se soustrayant largement aux contraintes naturelles de la sélection, l'efficacité de l'élimination de caractères par ce processus en est réduite.
 6. C'est une des raisons fondamentales pour lesquelles on se refuse jusqu'ici à modifier le patrimoine génétique de notre espèce bien qu'éliminer un trait comme la mucoviscidose semblerait n'avoir que des avantages. Mais la question est : comment en être sûr ? La prévalence de certains traits clairement pathologiques fait penser qu'ils pourraient avoir constitué un jour un avantage sélectif et, qui sait, l'être à nouveau demain.

tiquement. Il a comme revers de la même médaille, l'hostilité inter-groupes, c'est-à-dire celle qui s'exercera vis-à-vis des « autres » particulièrement dès lors que les ressources sont convoitées par toujours un plus grand nombre d'humains. Cette hostilité va trouver dans l'intelligence des moyens inouïs de s'exprimer. En effet, comme nous le rappelle C. de Duve, l'attribut le plus remarquable acquis par notre espèce est notre intelligence qui précisément nous soustrait dans une large mesure aux contraintes de l'environnement toujours plus maîtrisé : le « singe nu », de tropical qu'il était a colonisé, grâce à la redoutable efficacité de son cerveau, l'entièreté de la planète et exploité à l'extrême toutes ses ressources. C'est la source des malheurs de notre espèce. L'égoïsme et l'agressivité ne pouvaient que s'accroître de manière darwinienne dans la compétition intergroupes que l'humanité n'a cessé de vivre avec de plus en plus d'intensité. Compte-tenu que les avantages immédiats vont au groupe qui surenchérit le plus dans son égoïsme et sa domination agressive, il n'y a pas d'espoir qu'il soit contre-sélectionné naturellement.

On comprend également à partir de là, et c'est l'idée forte de C. de Duve, que la sagesse n'est pas, quant à elle, héréditaire. Et pour cause, puisqu'elle n'a jamais été un facteur avantageant immédiatement certains individus humains, que du contraire. Elle ne confère pas de bénéfice direct évident pour l'individu qui en serait doté, mais seulement des avantages à long terme pour l'espèce. La sélection fonctionne dans l'immédiateté, nous rappelle C. de Duve, et la sagesse n'étant utile que dans une perspective de long terme, elle n'a donc pu s'imprimer dans nos gènes.

L'explication que C. de Duve nous propose de l'acquisition des traits spécifiques – au demeurant dangereux – de notre genre humain, est une transposition directe à celui-ci de savoirs bien établis par ailleurs dans le cadre de la théorie synthétique de l'évolution, autrement dit celle qui a intégré la génétique au darwinisme. On y retrouve aussi des accents notamment socio-biologiques de la « nouvelle synthèse » de Wilson ou encore de Dawkins, dans « Le gène égoïste ».

C. de Duve en appelle alors à la réponse « épigénétique » comme unique remède envisageable au fardeau que la génétique fait peser sur nos comportements individuels et par là sur le destin de l'espèce. Dans ce contexte particulier il s'agit, dit-il, d'un terme savant pour dire « éducation ». Mais l'éducation est de la sphère des sciences humaines ; l'auteur fait-il seulement un jeu de

mots ou une simple transposition de termes permettant au scientifique de se muer en moraliste? Pour comprendre qu'il n'en est rien, il convient de s'arrêter un instant à ce terme de « épigénétique » allié à « génétique ».

Hérédité génétique et épigénétique

Richesse et ambiguïté des termes

« Hérédité génétique » serait un pléonisme puisque Bateson, le champion du Mendélisme, invente en 1905 le terme « génétique » pour désigner la science de « l'hérédité et de la variation ». Le mot évoque, nous l'avons signalé plus haut, ceux de pangènes et pangenèse déjà rencontrés chez les Hippocratiques et que Darwin lui-même ressuscita. Les pangènes ou gemmules étaient des entités floues responsables des caractères apparaissant au cours de la genèse des formes ou développement (morpho-genèse) : des pangènes (ou gemmules) de « doigts » s'accumuleraient aux régions où ceux-ci se forment dans l'embryon. Selon la théorie de la pangenèse, les pangènes trouveraient leur chemin jusqu'aux cellules sexuelles pour transmettre les dits caractères à la progéniture. Ce qu'il est intéressant de noter, c'est que les termes qui ont servi à forger le mot génétique illustrent le lien fort entre hérédité (facteurs ou gènes) et développement (genèse des formes ou embryologie)⁷. Les généticiens, on l'oublie trop souvent, furent et sont toujours essentiellement intéressés par la grande question de la biologie qui est – en réalité depuis Aristote – de comprendre comment un gland peut développer ou générer les caractères spécifiques du chêne dont il provient ! Comment une cellule-œuf, informe et en apparence homogène, peut-elle – et sous quelle nature – contenir la forme entière d'un adulte ? La différence héréditaire visible par la différence de forme (phénotypique) s'explique, nous apprend la génétique, si on invoque une mutation dans le gène responsable de la forme ! Le gène s'impose donc conceptuellement par ses conséquences : il est une entité (restée longtemps virtuelle) fonctionnelle transmissible et mutable. En termes modernes on pourrait dire que le génotype est l'information et le phénotype est la forme. Le gène est à la fois déterminant transmissible de Mendel et facteur du développement.

7. Il n'y a pas si longtemps il était usuel de confier le cours d'éléments de génétique, lorsqu'il y en avait un, au professeur d'embryologie.

Ce concept de gène est fécond mais simplificateur. En effet, si le gène détermine le phénotype, il n'est toutefois pas le seul. Qu'il suffise de remarquer par exemple que, alors même que les gènes de la cellule-œuf initiale et des cellules de l'organisme sont inchangés, celles-ci sont très différentes de l'œuf et différentes selon les tissus. L'explication de ce phénomène de la différenciation tenait anciennement en un concept lui aussi flou : l'épigénèse⁸. Il y a donc bien des différences génétiques et d'autres qui seraient « épi »-génétiques. « Hérité génétique » n'est plus un pléonasme comme on le supposait au début de ce paragraphe dès lors qu'il existe une hérédité épigénétique ! Mais pour autant, on ne comprend nullement à ce stade ce qui arrive aux gènes dans l'histoire de leur expression temporelle – avec constance et variation – et en particulier comment un même génome génère tant de types différents de cellules d'un organisme.

La question est bien posée à la fig.1. Nous avons jusqu'ici interprété cette figure d'un point de vue « évolution » d'organismes à partir d'une souche mais on peut aussi la lire comme différenciation ou développement d'un organisme à partir d'un œuf. Nous considérons cette fois que le contenu du rectangle du haut n'est plus une population d'organismes distincts, mais un seul organisme obtenu par le « développement » à partir d'une cellule-œuf. À certaines générations, des différences transmissibles (flèches pleines) apparaissent dans certaines cellules qui deviennent des cellules primordiales d'un tissu différencié ; bien que « héréditaire » ce phénomène de différenciation ne résulte pas d'une variation génétique (par bonheur les mutations sont rares !). Soulignons enfin que le lien « évo-dévo », comme on dit aujourd'hui, que nous venons d'illustrer brièvement par la double interprétation de la fig.1 était pressenti de longue date mais mal compris.⁹ Il faudra attendre les découvertes modernes de la biologie moléculaire pour voir plus clair dans les parts respectives qu'y jouent le génétique et le non génétique (« épi- »), ce dont il sera question ci-après.

8. Ce terme, trouvé chez Aristote et repris plus tard au XVI^e et XVII^e, notamment par l'embryologiste Casper F. Wolff et le grand physiologiste, William Harvey, désigne, mais sans l'expliquer, le processus remarquable de la différenciation.

9. Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1884) et la loi de récapitulation de la phylogenèse dans l'ontogenèse.

La part du gène ou génique

En nommant les déterminants de Mendel « gènes » et en appelant la science de l'hérédité « génétique » on a, *ipso facto*, réduit le champ de l'hérédité aux gènes... alors que d'autres facteurs et mécanismes jouent, on vient de le voir¹⁰. Ce qui est amusant et instructif à noter c'est que les choses ne se sont pas déroulées dans l'ordre chronologique suggéré : le terme « gène » fut en réalité proposé par Johannsen seulement en 1909-10, soit près de 5 années après celui de « génétique ». Celle-ci n'est donc devenue la « science des gènes » que plus tardivement et abusivement. Il est vrai que le « gène » et avec lui la génétique, connaîtra un succès très grand dont découlera la vision géocentrique qui a largement prévalu jusqu'à nos jours. En quelques décennies, le gène allait en effet voir sa nature ADN identifiée, sa structure définie, son expression expliquée (voir fig.2 et sa légende) et le gène-ADN sera considéré comme l'unique véhicule de l'hérédité¹¹. Le gène ainsi conçu semblait expliquer entièrement le concept de « facteur » virtuel Mendélien. Même la différenciation, restée si mystérieuse, recevait une explication de principe simple : elle est le résultat de l'expression dans certaines cellules et tissus d'un organisme de gènes particuliers parmi l'ensemble de ceux composant un génome. La relation gène-caractère apparut univoque et les secrets de la forme du vivant semblèrent, sinon élucidés, du moins en vue de l'être. On allait, pensait-on, découvrir autant de gènes qu'on percevait d'innombrables caractères chez un organisme¹². Ce géocentrisme simpliste qui, nous le disions plus haut, réserve la place exclusive au rôle du gène dans le phénotype a souvent oblitéré la complexité du phénomène héréditaire ; celui-ci n'est pas que inscrit dans une séquence ADN. Sans doute aurait-on pu ou dû distinguer utilement le « génique » du « génétique » et réserver à ce dernier terme seul la signification d'hérédité au sens plein, tel que proposé initialement par Bateson.

10. L'option est soit de garder le nom de gène dans son acception habituelle d'aujourd'hui dans les textbooks de génétique, soit d'étendre son sens à tout ce qui est déterminant héréditaire, soit encore de renommer gène, génétique et/ou redéfinir leur contenu. Comme souvent en science les termes et concepts les plus riches ont eu et gardent parfois des acceptions différentes que le contexte permet de distinguer (cfr. Vandenhoute, J. Le gène, concept et objet. *Rev. Quest. Scient.*, 171, 7-28, 2000).

11. Même l'hérédité cytoplasmique s'est révélée *in fine* dépendre d'endosymbiontes eux-mêmes d'authentiques génophores.

12. Il y a quelques dizaines d'années à peine on pensait qu'il devait y avoir de l'ordre 250000 gènes chez l'homme alors qu'aujourd'hui on en dénombre moins d'un dixième !

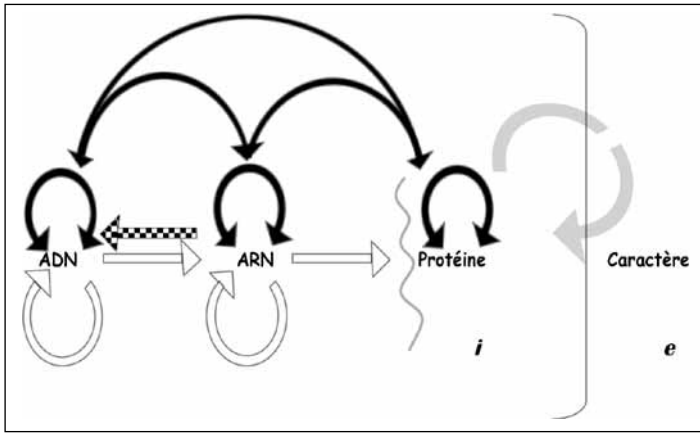


Fig. 2. Le « dogme central » de la biologie moléculaire et les interactions moléculaires effectrices et régulatrices.

Les flèches ouvertes représentent des transferts d'information (de g à d : réplication, transcription, traduction, avec en outre les phénomènes de la rétrotranscription et de la réplication de l'ARN découverts chez certains virus à ARN). Le caractère unidirectionnel du flux depuis les acides nucléiques, seuls capables d'être répliqués, vers les protéines et de là aux caractères, interdit aux effets de l'exposition au milieu (agressions, usure, « amélioration »,...) de remonter de la protéine (phénotype) au gène (génotype), c'est-à-dire que l'acquis ne peut devenir héréditaire (la ligne ondulée représente cette séparation). Les flèches pleines représentent des interactions macromoléculaires. La flèche circulaire (grise) ouverte enjambant la limite entre le milieu intérieur (i) et extérieur (e) représente l'influence des protéines sur le milieu (p.ex. la transformation métabolique des nutriments) et de celui-ci sur le milieu intérieur (protéines, ARN et par là sur tout le mécanisme de transferts d'information partant de l'ADN). Le « dogme » tel que représenté se rapporte au gène en général, mais il faut garder en tête que les interactions qui sont représentées font intervenir des produits de gènes différents en interaction.

En réalité, il est abusif de dire que le gène ou la protéine qui en est l'expression (cfr. fig.2) « fait » le caractère. On pourrait même dire qu'ils ne « font » rien ou, en tout cas qu'ils ne font rien seuls. Le milieu joue sa part indispensable. Une enzyme n'est pas manifeste tant que le substrat ne la met en quelque sorte en action ; quant au gène, portion d'ADN inerte, il est bien impuissant *per se* de déclencher quelque processus que ce soit. Sans le cortège des interactions avec de multiples partenaires protéiques et/ou nucléiques (cfr. Fig.2 montrant les interactions via les ARNs, les protéines et leurs complexes au niveau de chaque étape du dogme) au sein de ce qu'on a appelé assez juste-

ment, des « machineries », rien ne se passe¹³. Mais si l'influence du milieu externe dans l'expressivité finale d'un caractère génétique¹⁴ est évidemment centrale, il faut réaliser que le milieu interne lui aussi varie et jouera un rôle primordial de modulation. Il est bien sûr au contact du milieu extérieur dont il subit l'influence mais, surtout, sa constitution est fonction de l'expression des autres gènes, soit que ceux-ci soient différents selon l'organisme, soit que, dans un même organisme, les gènes mis en action varient, nous l'avons rappelé ci-dessus, selon les tissus. Toute action d'un gène dépend donc globalement d'interactions avec le milieu, que ce soit le milieu externe ou interne, en particulier de l'interaction avec d'autres gènes¹⁵ ; c'est le même Bateson inventeur en 1905 du mot génétique qui proposa le terme « épistasie » pour désigner ces interactions génétiques modificatrices s'exerçant sur le phénotype.

Du fait de la complexité dont il vient d'être question, le gène n'apparaît pas à l'observateur dans sa simplicité et il a fallu en fait beaucoup d'ingéniosité et de perspicacité à Mendel et ses successeurs pour arriver à faire abstraction de cette complexité et, de la sorte, mettre au jour les lois de la génétique et le concept du gène. Les données récentes du séquençage du génome humain ont rappelé, si besoin en était, que ce concept de gène à relation univoque au caractère est loin de rendre compte de toute la réalité (les quelque 20000 gènes avérés du génotype décelés dans le génome de l'homme ne sont pas plus nombreux que ceux d'un ver de 1mm !). Il faut tenir compte de la génétique mais aussi de l'épigénétique entendue comme tout ce qui « sépare le génotype du phénotype »¹⁶. Cette définition de l'épigénétique est une parmi les nombreuses existantes¹⁷. Proposée par Robin Holliday elle a l'avantage

13. On a par exemple l'habitude de dire que l'ADN est capable de « se » répliquer, alors qu'on devrait dire qu'il peut « être » répliqué tout comme une séquence d'ADN (en « cis ») peut être transcrite à l'intervention de polymérases distinctes et d'autres facteurs (agissant en « trans »).

14. A l'échelle des caractères génétiques, par exemple zootechniques, la même observation vaut : ces caractères seront très variables selon l'environnement (nourriture, conditions sanitaires,...).

15. On sait qu'une mutation (p.ex. a) peut être dominée si un exemplaire ou allèle « normal » du même (p.ex. A) gène est porté par l'autre chromosome de la paire. On parle alors de dominance et de récessivité (gènes allèles A et a). Des relations similaires à ces interactions alléliques peuvent exister entre gènes différents (gènes A et B) ; les interactions géniques compliquent évidemment beaucoup l'analyse génétique.

16. On pourrait être plus général en utilisant les termes de génome, phénotype et épigénome.

17. Waddington (1942) est considéré comme inventeur du terme « epigenetics », contraction de épigénèse et génétique : « the branch of biology which studies the causal interac-

d'être « ouverte » et de référer au fait que l'ADN n'est « facteur » que en interaction avec d'autres facteurs modificateurs qu'ils soient génétiques (épistatiques au sens de Bateson) ou autres.

On retiendra de ce paragraphe que, effectivement, le génique n'est qu'une part de l'explication des caractères. Un gène ou une mutation sont en fait des facteurs toujours conditionnels¹⁸. Ce qui « sépare le génotype du phénotype », lieu des interférences s'exerçant sur le devenir du vivant, demeure le problème central de la biologie moderne.

La part non génique

De ce qui précède il ressort que la part non génique qui affecte l'expression phénotypique s'exerce via d'innombrables interactions physicochimiques. Or, puisque le milieu (on pense en premier à l'« environnement externe ») n'est pas transmis et que seul l'acide nucléique est répliquable on s'est cru en droit d'affirmer : seul le génique est héréditaire, le non génique ne l'est pas. Quelques exemples suffiront à nous détromper et à illustrer l'importance de l'hérédité non génique ou épi-génique.

Dans le cas de l'infection phagienne présenté à la fig.3 on voit que la répllication de l'ADN phagien dans *E.coli* entraîne la méthylation protectrice de certains sites spécifiques de cet ADN en présence de l'enzyme modificatrice dans la souche-hôte. Le milieu de reproduction du phage (le contenu de l'hôte *E. coli*) affecte directement, non pas la séquence génétique, mais un autre attribut chimique de l'ADN : l'état de méthylation de certains résidus. Dans ce même milieu cette modification se maintient transgénérationnellement¹⁹. La méthylation de l'ADN confère un phénotype simple : sa résistance à l'action hydrolytique de certaines nucléases et donc, en quelque sorte, la « survie » de la souche phagienne dans ces conditions. Nous verrons plus loin que ce type

tions between genes and their products which bring the phenotype into being". Il se situait spécialement dans le cadre plus restrictif de l'embryogenèse à une époque où on était dans l'ignorance complète de la biologie moléculaire et des unifications qu'elle allait permettre. « Epigénétique » a aussi été utilisé par les psychologues.

18. C'est heureux si on songe que, sans cela, toute médication pour une déficience héréditaire serait sans effet.
19. La répllication d'un ADN portant p.ex des méthylations sur ses sites palindromiques GA*ATTC/CTTA*AG donne 2 molécules ADN filles hémiméthylées. Les enzymes complètent l'hémiméthylation, en méthylation complète sur les deux brins : les patrons de modifications sont donc ainsi parfaitement transmis !

de modifications chimiques de l'ADN ou de ses enveloppes chromatinienne s'observe chez nos cellules et y tient un rôle épigénétique majeur.

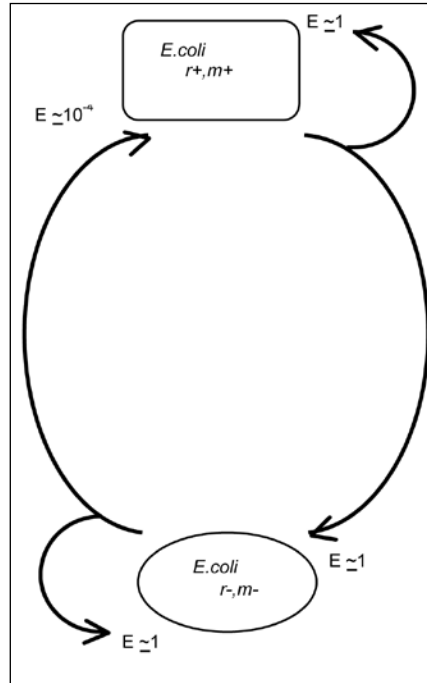


Fig. 3. Schéma illustrant une transmission épigénétique au cours d'un cycle infectieux d'un phage dans deux souches distinctes de bactéries *E. coli*.

Dans le milieu de croissance que constitue la souche du dessus ($r+, m+$) le phage infectant produit des descendants dont l'ADN est méthylé sur certains sites par une méthylase de type m , protégeant ceux-ci de l'hydrolyse par nucléase de type r spécifique de ces mêmes sites. Au passage dans la souche du bas ($r-, m-$) le milieu est cette fois dépourvu de nucléase (r) et de méthylase (m). Les ADN des phages descendants ne sont pas méthylés. Lorsque ceux-ci sont remis au contact de la souche de départ ($r+, m+$) celle-ci va « restreindre » à pratiquement 10^{-4} le taux d'infection réussie parce que les ADN non méthylés seront efficacement hydrolysés dès leur injection dans l'hôte. Dans ce cycle de passage entre deux souches de *E. coli* il n'y a pas eu de changement génétique des phages. Le phénotype infectieux n'est pas modifié suite à changement de séquence génique mais est d'origine épigénétique.

Un autre exemple chez la bactérie *E. coli* concerne le fameux opéron lactose découvert par Jacob et Monod. Sans entrer dans le détail, disons que la présence de lactose dans le milieu à une concentration dépassant $7\mu\text{M}$ déclenche l'activité de cet opéron (comprenant des gènes codant la lactase et la

perméase du lactose) offrant à la cellule la capacité de se servir de ce métabolite. On observe qu'une brève exposition d'une génération de *E. coli* à cette condition suffit au déclenchement mais, étrangement, le retour aux conditions non inductrices (p.ex. 1-5 μ M lactose) n'abolit pas l'activité de cette souche et ce pendant de nombreuses générations, alors qu'une souche génétiquement identique, mais qui n'a pas connu la même histoire antérieure, reste inactive dans un environnement identique. La différence est ici encore manifestement non génique. Il s'agit d'un caractère de « mémoire » imprimée non pas génétiquement (il n'y a pas eu de mutation de séquence) mais transmis épigénétiquement. Le mécanisme tient dans le fait que des perméases au lactose générées suite à la première stimulation (>7 μ M lactose) de l'opéron sont transmises aux cellules-filles qui, de la sorte, pourront absorber le lactose présent seulement à des concentrations faibles non inductrices. Comme l'explique très bien R. Thomas (fig.4), c'est l'instauration d'une boucle positive « épigénétique » qui assure l'auto-entretien du phénotype malgré l'absence du déclencheur initial.

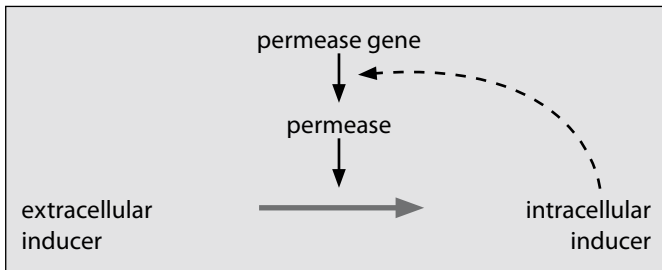


Fig. 4. Logique de la boucle positive introduisant la mémoire épigénétique dans l'expérience historique de Novick-Weiner en 1957 (d'après Thomas 1998²⁰, légèrement modifié).

Une fois l'induction de l'opéron obtenue grâce à un concentration élevée de lactose (inducteur extracellulaire) des perméases sont produites et se logent en membrane assurant l'entrée de lactose même si sa concentration n'est plus inductrice. Comme les cellules-filles héritent de la membrane de la cellule-mère elles héritent aussi des perméases et le phénotype est ainsi maintenu dans la descendance.

Si on passe maintenant aux eucaryotes, l'épigénétique y est presque exclusivement mentionnée comme dépendante de modifications d'ADN et de

20. Thomas, R. Laws for the dynamics of regulatory networks. *Int. J. Dev. Biol.* 42, 479-85 (1998)

chromatine. La littérature foisonne littéralement depuis quelques années de références sur ce thème qui s'étend déjà au domaine de la pathologie²¹. Limitons-nous ici à quelques exemples d'études plus spécialement en rapport avec le comportement qui nous intéresse dans le contexte de la proposition de C. de Duve prônant un « recâblage » épigénétique des cerveaux humains. Le comportement de léchage et de soin (LG ou *licking-grooming*) par la mère aux jeunes souris ou rats et sa transmission a été bien exploré notamment par Colvis *et al.* (2005)²².



Fig. 5 Mémoire épigénétique d'un comportement chez la souris

*Le comportement LG (léchage des souriceaux) est transmis de la mère (F₀) à sa progéniture (F₁) en même temps qu'il induit une modification (méthylation spécifique) de la chromatine responsable de l'activation du gène de récepteurs à l'hormone GR (glucocorticoïde) avec pour effet une réduction à certaines réactions de stress. (inspiré de Colvis *et al.* 2005)*

Ces auteurs mettent en évidence que le milieu, en l'occurrence le soin maternel, modifie chez la progéniture l'expression de certains gènes. L'effet, est épigénétique et non génétique puisqu'il s'agit d'une modification chimique de méthylation spécifique des promoteurs de ces gènes dont l'activité améliore la résistance au stress. Dans le cas du phénotype LG celui-ci est transmis non seulement de la mère G₀ aux filles G₁ mais aussi à la génération G₂. Ceci pose donc clairement la question de savoir ce qui – sans être la séquence de l'ADN – est contenu dans les gamètes et cause la transmission du phénotype au descendant²³. L'ARN, en raison de sa parenté avec l'ADN apparaît comme un candidat potentiel à ce rôle (cfr fig.2) et ce d'autant que son rôle a été récemment mis en lumière dans de nombreuses modifications épigénétiques (il peut par exemple être lié à une méthylase ou une nucléase et « adresser » celle-ci à

21. Le laboratoire de « Cancer epigenetics » de F. Fuks à l'ULB en est un bel exemple.
22. Colvis, C.-M. *et al.* Epigenetic Mechanisms and Gene Networks in the Nervous System. *Journal of Neuroscience*, 25,10379-89, 2005.
23. Des effets maternels typiquement épigénétiques sont connus par ailleurs notamment chez la drosophile où la présence dans l'oeuf d'ARNm (et/ou de protéines) ovocytaires, c'est-à-dire maternels ont un rôle déterminant initial dans l'apparition de certains morphogènes.

un site ADN spécifique par appariement de type Watson-Crick). De plus certaines expériences démontrent qu'une simple injection locale d'ARN peut donner lieu à un effet systémique dans tout un organe²⁴, voire dans tout l'organisme comme c'est pratiqué en routine chez le ver *C. elegans*, ce qui implique qu'il s'amplifie et se transmet intercellulairement. Enfin, et c'est le point le plus frappant, son rôle dans la transmission meiotique de certains phénotypes est établi, non seulement dans le ver suite à l'expérience d'injection que nous venons de mentionner, mais aussi chez des mammifères. Ainsi, une expérience récente²⁵ montre qu'un spermatozoïde de souris indemne de mutation pour un caractère donné (extrémité colorée de la queue) mais dont le cytoplasme inclut des microARNs originaires de l'organisme paternel hétérozygote, transmet le caractère paternel. Le souriceau ainsi affecté du phénotype de coloration de l'extrémité de la queue – sans en avoir la mutation – est capable à son tour de transmettre ce caractère. Ce résultat remarquable montre une transmission transgénérationnelle épigénétique sur plusieurs générations (mais qui finit par s'éteindre). L'ARN pourrait donc être – au moins en principe – un agent épigénétique transmissible d'un phénotype, par exemple comportemental, capable de passer la méiose ; mais d'autres expériences seront nécessaires pour étayer une telle interprétation²⁶.

En résumé, les exemples supra montrent que le rôle héréditaire ne doit pas être attribué exclusivement à l'ADN comme ce fut le cas dans la doctrine génocentrique. Il faut et il suffit pour qu'un agent informatif puisse jouer un rôle héréditaire, qu'il passe aux descendants et qu'il s'y exprime, ce qui suppose qu'il y diffuse et s'y multiplie. Implicitement c'est ce qu'on attendait du concept, riche mais flou, de « déterminant » Mendélien : qu'il soit une « cause » ou un facteur phénotypique reproductible et transmissible aux cellules du soma et du germen. Les protéines satisfont partiellement à ces critères mais seul l'ARN est, comme l'ADN, répliquable (fig.2).

24. Musatov S. *et al.* RNAi mediated silencing of estrogen receptors in the ventromedial nucleus of hypothalamus abolishes female sexual behaviors. PNAS, 103, 1456-60, 2006.

25. Rassoulzadegan M. *et al.* RNA-mediated non-mendelian inheritance of an epigenetic change in the mouse. Nature 441, 469-74, 2006.

26. Le mode d'action de cet ARN n'est pas établi. Une hypothèse est qu'il interfère avec le vaste processus de modifications chromatiniennes qui affecte obligatoirement les gamètes au cours de leur formation et le rétablissement de nouvelles marques épigénétiques durables au cours de l'embryogenèse et de la différenciation.

Hérédités, évolution et comportement

Au terme de ce tour d'horizon forcément elliptique du concept d'épigénétique en relation avec la génétique et l'hérédité, d'intéressantes questions se posent. Quelle place, par exemple, réserver à l'hérédité non ADN dans nos conceptions de l'évolution et, d'autre part, de la biologie du comportement, deux thèmes centraux dans l'ouvrage de C. de Duve ?

S'agissant de l'évolution, certains voient dans l'épigénétique les prémices d'un néo-Lamarckisme mais il faut noter d'emblée que, même si des marques épigénétiques acquises par un ascendant peuvent se retrouver dans sa descendance (au moins pour quelques générations), il n'y a là en aucune façon une acquisition obtenue suite à un effort individuel « pour » s'adapter, comme le voudrait le Lamarckisme.

Une autre question que le biologiste post-darwinien se pose est celle du « pour quoi ? » d'une épi-génétique en sus de la génétique. Quel avantage sélectif ou évolutif y est-il attaché ? Comme c'est généralement le cas dans ce genre de problématique on en est réduit aux conjectures.

Remarquons qu'une population de bactéries à rythme de générations élevé peut généralement compter sur la mutation sporadique pour contenir avec une haute probabilité un variant porteur d'une adaptation adéquate à la variation du milieu, lequel variant génétique émergera et assurera la survie de l'espèce dans ces nouvelles conditions ; dans ce cas l'épigénétique semble superflue. Cependant si on imagine un milieu bactérien fluctuant de manière brutale, plusieurs situations peuvent se rencontrer. Soit, par le fait du hasard, il n'y a à l'instant du changement aucun mutant adapté au nouveau milieu et l'extinction de la souche se produit, soit un mutant existe dont le type va supplanter la souche de départ laquelle, en conséquence, risque de disparaître. Dans l'éventualité d'un retour brusque aux conditions antérieures, le génome de la souche initiale qui y était par hypothèse adaptée aurait irrémédiablement disparu. En revanche, si la population contenait cette fois des variants épigénétiques qui soient capables de répondre au stress du milieu et de transmettre cette aptitude au moins transitoirement (« soft inheritance »²⁷), le patrimoine génétique originel de la souche (la séquence ADN) est conservé malgré le

27. On doit les termes « hard » et « soft inheritance » au grand évolutionniste Ernst Mayr.

changement de milieu et celle-ci pourra redémarrer sans problème (les marques épigénétiques s'effacent aisément) au retour brusque du *statu quo ante*. Et dans l'hypothèse enfin où les conditions hostiles persistaient on peut imaginer que durant la période de survie des variants « épigénétiques », une chance accrue s'offre à la souche originelle de connaître une mutation sporadique « hard inheritance » favorable, qui n'était pas présente au moment de l'apparition du milieu hostile. Ainsi le fait qu'une souche donnée augmente ses chances de survie si elle est dotée de variants épigénétiques, pourrait être une réponse à la question du « pour quoi ? » de l'épigénétique²⁸.

La situation est différente dans les cas des multicellulaires. La variation qui permet l'adaptation des tissus n'est ni mutation hasardeuse et permanente, ni modification physiologique labile ; la différenciation est modification rémanente et transmise assurée au niveau épigénétique ou, autrement dit, elle est « soft inheritance »²⁹. Au sein du tissu cérébral il semble – et C. de Duve y fait référence – que l'épigénétique tienne un rôle primordial. Le câblage dont il parle réfère à l'engrangement de comportements dans des circuits neuro-naux. On sait que la stimulation de neurones peut modifier l'état épigénétique de gènes (modification et localisation des nucléosomes, méthylation de l'ADN etc...), la circuiterie neuronale et la neurogenèse³⁰. Ce domaine de recherche est en pleine expansion et il serait présomptueux de prétendre en donner ici ne fût-ce qu'un aperçu. Mentionnons seulement que la plasticité des connectivités neuronales qui semble liée à l'état épigénétique, lui-même doté à la fois de rémanence et de susceptibilité aux stimuli, est à la base de l'élargissement du spectre comportemental de certaines espèces. Or chez l'homme en particulier, l'adaptabilité comportementale est un atout majeur lui permettant d'explorer avec succès les milieux et situations les plus divers et cela sans devoir recourir à la spécialisation physiologique ou génétique ; les différences raciales ne modifient pas fondamentalement la capacité adaptative de notre espèce qui est ubiquiste essentiellement par comportement. L'homme

28. C'est cette même explication « darwinienne » qu'on propose comme « raison » de la variation phénotypique au départ surprenante qu'on constate au sein de toute population bactérienne clonale et donc génétiquement pure (Elowitz M. B. *et al.*, Stochastic gene expression in a single cell. *Science* 297, 1183-6, 2002.)

29. Des découvertes récentes montrent que la différenciation n'est pas aussi définitive qu'on l'avait cru.

30. Ma D. K. *et al.* Neuronal Activity-Induced Gadd45b Promotes Epigenetic DNA Demethylation and Adult Neurogenesis. *Science* 323, 1074-77, 2009.

a pu par l'exercice de son intelligence – comme le souligne C. de Duve – se soustraire largement à la pression de la sélection naturelle sans autre modification de structure ou propriété biologique. La circuiterie (ou le câblage) de notre cerveau est certes en partie « hard inheritance » c'est-à-dire définie spécifiquement, mais aussi en grande partie « soft inheritance » dépendant de l'histoire ou expérience individuelle. Et c'est là que C. de Duve situe bien entendu la place de l'apprentissage et de l'éducation qui devrait offrir une chance à l'espèce humaine de réorienter son avenir.

* * *

C. de Duve nous livre un essai sur les menaces pesant sur l'avenir de l'humanité. L'originalité du propos est d'emmener le lecteur dans une réflexion d'essence biologique sur des questions cruciales touchant à notre avenir, généralement vues au travers du prisme des sciences dites humaines. Il nous montre, en effet, que c'est le cerveau, propre à notre espèce, dont on commence à comprendre le fonctionnement, qui est à la fois la cause du problème et la solution potentielle.

Le bagage génétique des neurones conditionne leurs capacités comme c'est le cas pour toute cellule. Pour la bactérie la mutation est la ressource adaptative par excellence ; pour une cellule d'un tissu, la différenciation épigénétique confine celle-ci dans un fonctionnement largement dédié. Pour ce qui concerne le cas particulier du cerveau, il y a une part de déterminisme génétique très certainement, mais aussi un large part épigénétique mais dotée de grande plasticité. C'est en effet la connectivité interneuronique qui a le rôle majeur dans l'adaptabilité comportementale que manifeste l'individu et celle-ci est davantage le fait de l'expérience et de l'apprentissage que d'un donné intangible. L'exposition au milieu, l'expérience, modifie rétroactivement l'activité cérébrale et celle-ci modifie la circuiterie inter-neuronique du cerveau. On est loin de comprendre les parts relatives du génétique et de l'épigénétique, du gène et de son environnement, de la « nature » et de la « nurture » dans ce qui caractérise le cerveau d'un individu. Ce type de questions est à la frontière de la biologie actuelle, mais l'épigénétique apporte doré et déjà des éléments et surtout des principes d'explication moléculaire qui faisaient défaut jusque là. Les conceptions épigénétiques sur les facteurs du déterminisme du comportement constituent en tout cas un possible support à de futures recherches sur toutes les questions fascinantes de la sphère cognitive et com-

portementale et laissent augurer de découvertes d'ordre biologique qui devraient éclairer des questions aussi centrales, mais pratiquement inexplorées, que la conscience et d'autres, plus philosophiques, telles celle du libre arbitre.

Il peut sembler qu'en focalisant sa réflexion sur le câblage et le recâblage du cerveau, C. de Duve « naturalise » à l'extrême un problème que certains voudraient voir traité en d'autres termes. La pensée de C. de Duve est en fait dans la ligne de celle de Darwin mais elle va plus loin. Darwin au terme de son œuvre magistrale qui découvrait une nouvelle histoire de la vie, livrée à elle-même, dans un processus d'évolution non prédéterminée, écrivait « N'y a-t-il pas une véritable grandeur dans cette conception de la vie... ? ». Pour C. de Duve l'homme est tout entier plongé dans ce processus de la vie et totalement livré à lui-même mais, du même coup, chargé de responsabilité et de la capacité de conduire son avenir biologique. Il nous semble entendre C. de Duve nous interpeller en disant lui aussi : « N'y a-t-il pas une véritable grandeur dans cette conception de l'homme... ? »

Leçons de vie

CHRISTIAN DE DUVE

Nos connaissances au sujet de la vie, cette propriété extraordinaire que nous partageons avec tous les êtres vivants qui nous entourent, ont fait des progrès remarquables au cours des dernières décennies. Lorsque, il y a plus de soixante-dix ans, je m'asseyais pour la première fois sur les bancs de l'université, on ignorait presque tout de la vie. Mes professeurs en parlaient avec vénération et l'écrivaient avec un V majuscule, derrière lequel se cachait le mystère.

Aujourd'hui, ce mystère n'est plus. Il reste de grandes inconnues, bien sûr, le fonctionnement du cerveau, par exemple. Mais les microbes, les champignons, les végétaux n'ont pas de cerveau. Et pourtant ils sont vivants. Si l'on définit la vie comme ce qui est commun à tous les êtres vivants connus, en raccourci, ce que nous avons de commun avec les colibacilles que nous hébergeons dans notre intestin, il n'est pas exagéré d'affirmer que nous comprenons la vie. Nous savons comment elle fonctionne.

Première leçon que nous pouvons tirer de ces connaissances, la vie est une. Tous les êtres vivants connus descendent d'une forme ancestrale unique, le DACU, ou Dernier Ancêtre Commun Universel. Cette assertion repose sur des preuves que je n'ai pas le temps de détailler, mais qui emportent la conviction.

Deuxième leçon, la vie est chimie. Les phénomènes de la vie s'expliquent entièrement en termes de structures et d'interactions de molécules chimiques. Il doit en être de même de son origine, du moins si l'on admet que la vie est née naturellement, ce qui est la seule hypothèse valable sur le plan scientifique, la seule susceptible de servir de base à des recherches. Il n'est d'autre possibilité, dans ce cas, que de supposer que la vie est née à partir de

petites molécules – acides aminés, sucres, bases azotées, acides gras, etc. – qui, grâce aux conditions physico-chimiques qui régnaient, se sont formées et ont réagi les unes avec les autres pour créer des assemblages moléculaires et multimoléculaires de plus en plus complexes, pour aboutir finalement au DACU, la racine unique de l'arbre de la vie.

On doit signaler, à ce propos, une découverte remarquable des trois dernières décennies, qui, chose étrange, a peu retenu l'attention des scientifiques, encore moins celle des médias. Les briques chimiques de la vie, les petites molécules dont sont construits tous les êtres vivants naissent spontanément dans notre système solaire et, probablement, dans beaucoup d'autres endroits de l'Univers. Ce fait extraordinaire a été révélé par l'étude spectrale des rayonnements qui nous viennent de l'espace, par l'analyse de comètes à l'aide d'instruments transportés par un vaisseau spatial et, surtout, par l'analyse, au moyen de toutes les techniques des laboratoires modernes, de météorites tombées sur la Terre. Cette chimie, que l'on a appelée « organique » parce qu'on la croyait l'apanage des organismes vivants, est la chimie la plus banale et la plus abondante de toutes. Les semences chimiques de la vie sont partout.

Chimie veut dire déterminisme. En chimie, dans les mêmes conditions, on obtient toujours les mêmes résultats. S'il n'en était pas ainsi, si un élément de hasard pouvait s'insinuer dans les phénomènes chimiques, il ne pourrait y avoir de laboratoires ou d'industries chimiques. La même règle doit s'appliquer à l'origine de la vie. Les conditions physiques et chimiques étant celles qui ont régné où et quand la vie est née – sans doute sur notre planète il y a un peu moins de quatre milliards d'années – la vie devait naître. Elle devrait naître de la même manière si les mêmes conditions devaient se reproduire ailleurs dans l'Univers.

Mais la vie n'est pas seulement chimie ; elle est aussi information. C'est la troisième leçon qu'elle nous enseigne. L'information a fait son entrée dans la vie au moment où la chimie primitive a donné naissance pour la première fois à des molécules capables de réplication, c'est-à-dire susceptibles d'induire les systèmes qui les synthétisent à en élaborer des copies – en réalité des versions complémentaires, mais cela revient au même, puisque le complémentaire du complémentaire est une copie. Aujourd'hui, cette fonction est exercée presque uniquement par l'ADN ; mais on a de bonnes raisons de croire qu'elle a d'abord été le fait de l'ARN. Certains scientifiques pensent même que

l'ARN a pu lui-même être précédé par une substance répliquable plus simple. Peu importe la nature chimique de la substance. Ce qui compte, c'est le pouvoir de réplication et, avec l'arrivée de ce pouvoir, l'inauguration de la continuité génétique. C'est grâce à l'existence de molécules répliquables que les enfants ressemblent plus à leurs parents qu'aux parents des autres enfants, que les souris produisent des souriceaux, les chênes des chênes, et ainsi de suite.

La réplication n'étant jamais parfaite, elle a pour complément inévitable la variation. Il y a fatalement toujours, pour toutes sortes de raisons, formation de copies imparfaites du modèle, qui, étant elles-mêmes répliquées, deviennent le point de départ de nouvelles lignées. D'où il résulte une compétition entre les lignées variantes pour les ressources disponibles, avec, comme conséquence obligatoire, la sélection des formes les mieux aptes à survivre et, surtout, à se reproduire dans les conditions existantes. On doit au génie de Charles Darwin et de son contemporain moins connu, Alfred Russell Wallace, d'avoir découvert cette relation qui nous semble évidente aujourd'hui, presque tautologique.

C'est ici qu'entre en jeu le hasard. En effet, les modifications ou mutations – qui sont offertes au filtre de la sélection naturelle sont des phénomènes accidentels. Non pas qu'elles soient aléatoires, car elles ont le plus souvent des causes bien précises, mais elles sont dépourvues d'intentionnalité. Elles n'ont pas lieu en vue d'un résultat déterminé qui serait, par exemple, l'adaptation à un environnement particulier. Elles ont lieu accidentellement, laissant la sélection naturelle faire le choix *a posteriori*, passivement, en fonction des conditions existantes. Pour de nombreux spécialistes, peut-être une majorité, ce fait introduit la contingence dans le déroulement de l'évolution biologique. Si c'était à recommencer, si on rebobinait la bande, selon la métaphore célèbre du biologiste et auteur à succès américain, feu Stephen Jay Gould, et qu'on la laissait se dérouler à nouveau, le résultat serait totalement différent.

Deux notions se cachent derrière ce raisonnement. La première, incontestable, est que la sélection ne peut s'exercer que sur les variantes qui lui sont offertes par la loterie des mutations. Des formes beaucoup mieux adaptées aux conditions pourraient exister. Elles ne peuvent émerger si le hasard ne les suscite pas. La deuxième notion, plus intuitive que raisonnée, est que le hasard propose le plus souvent à la sélection un échantillon très incomplet de possibilités, de telle sorte que la composition de celui-ci et, donc, le produit de

la sélection, auraient beaucoup de chances d'être différents si c'était à recommencer. Cette notion est le plus souvent implicite et tenue pour évidente par les partisans de la contingence. Elle est rarement discutée explicitement. Elle pourrait fort bien ne pas s'appliquer dans un certain nombre de cas. Le hasard, en effet, n'exclut pas l'inévitabilité. Tout dépend du rapport entre le nombre d'occasions dont dispose un événement pour avoir lieu et sa probabilité.

À pile-ou-face, la pièce a une chance sur deux de tomber sur un côté donné. Mais cette probabilité atteint 99,9 % si on jette la pièce une dizaine de fois. Un dé qu'on fait rouler a une chance sur six de s'arrêter sur un chiffre donné. Il suffit de le faire rouler une quarantaine de fois pour porter à 99,9 % la chance que ce chiffre apparaisse au moins une fois. Même un billet de loterie de sept chiffres, qui a une chance sur dix millions de sortir, est assuré à 99,9 % de gagner si l'on fait 69 millions de tirages. Bien entendu, les jeux de hasard ne sont pas organisés ainsi. Mais les choses sont différentes pour la loterie de l'évolution, qui se joue sur des temps très longs et sur un très grand nombre d'individus et de générations. Dans ces conditions, il n'est pas interdit de penser que la sélection ait pu, plus souvent qu'on ne le soupçonne, s'exercer sur un échantillon de possibilités suffisamment étendu pour conduire à un résultat proche de l'optimisation. Diverses données récentes, tant théoriques qu'expérimentales, suggèrent qu'il en a bien été ainsi dans un certain nombre de cas. Pour moi, cette notion est elle aussi une leçon de la vie, contrairement à la doctrine, encore largement admise, de la contingence.

En conséquence, la chimie déterministe et la sélection optimisante ont très bien pu se conjuguer pour imprimer au développement de la vie sur notre planète un déroulement en grande partie obligatoire pour les conditions environnementales qui l'ont entouré. On notera cette dernière précision, déjà venue à plusieurs reprises dans l'exposé qui précède. Elle laisse l'environnement comme source de contingence. Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'histoire de notre planète, sur les innombrables secousses et éruptions qui l'ont perturbée, la dérive de ses continents, les avatars de son champ magnétique, l'alternance des sécheresses et des inondations, des climats tropicaux et des glaciations qui s'y sont succédé, sans compter les tsunamis, Katrina et Rita récents, pour se rendre compte que cette histoire est unique et, donc, que l'évolution de la vie qu'elle a modelée doit l'être aussi. Pour les détails, cela est certainement vrai. Mais on peut se demander si l'allure générale de l'évolution biologique, notamment sa direction vers une complexité croissante, n'est pas le résultat

d'une tendance intrinsèque du processus vivant qui se manifeste chaque fois que les conditions s'y prêtent. Tendance entièrement explicable, je m'empresse de le souligner, en termes de facteurs strictement physiques et chimiques, comme tous les autres phénomènes vitaux. Il n'est pas question de réintroduire ici les anciennes doctrines de vitalisme et de finalisme, ni leur version récente, le « dessein intelligent ».

Qu'en est-il de nous dans tout cela ? Quelle place occupons-nous dans la saga de la vie ? La première chose que l'on peut dire à ce propos, c'est que nous sommes des tout nouveaux venus. La vie s'est passée de nous durant la presque totalité de son histoire. Celle-ci a débuté sur Terre il y a un peu moins de quatre milliards d'années, pour rester au stade unicellulaire pendant près des trois-quarts de ce temps. Deux événements particulièrement importants ont eu lieu durant ce très long épisode. Il y a eu d'abord l'apparition des cyanobactéries, qui sont des bactéries capables d'utiliser l'énergie solaire pour extraire de molécules d'eau l'hydrogène nécessaire à la formation de composés biologiques aux dépens de dioxyde de carbone et d'autres constituants minéraux, avec comme conséquence le dégagement d'oxygène moléculaire. Avant cela, il n'y avait pas d'oxygène dans l'atmosphère terrestre. La vie primitive était strictement anaérobie. La vie aérobie est venue plus tard.

Deuxième phénomène d'importance cruciale, qui a coïncidé avec la montée de l'oxygène atmosphérique, certaines cellules bactériennes – procaryotiques, comme on les appelle – se sont transformées en cellules beaucoup plus volumineuses et complexes, appelées eucaryotiques, possédant un noyau bien individualisé et de nombreux composants cytoplasmiques qui n'existent pas chez les procaryotes, notamment des mitochondries, un réseau cytomembranaire, des systèmes cytosquelettiques et moteurs, des lysosomes, des peroxysomes et, uniquement dans les cellules végétales, des chloroplastes. De ces cellules sont nés les premiers protistes, eux aussi unicellulaires.

Les êtres pluricellulaires sont apparus plus tard ; les premiers végétaux il y a environ un milliard d'années, et les premiers animaux il y a à peine un peu plus de six cents millions d'années, alors que la vie avait déjà accompli plus des cinq-sixièmes de son histoire. Dans les deux lignées, l'évolution a conduit, dans le sens vertical, à des formes de complexité croissante, et, dans le sens horizontal, à des lignées très variées issues des divers intermédiaires de l'évolution verticale. Dans la lignée animale, qui nous intéresse plus particu-

lièrement, l'évolution verticale s'est déployée à partir d'organismes très simples, éponges et méduses primitives, pour produire d'abord toutes sortes d'invertébrés, tels que les vers, les mollusques et les arthropodes, puis les premiers vertébrés marins, les poissons. De ceux-ci, l'évolution a mené aux amphibiens, puis aux premiers vertébrés strictement terrestres, les reptiles, d'où sont issus, d'une part, les oiseaux et, de l'autre, les mammifères. Parmi ces derniers ont émergé, il y a soixante-dix millions d'années environ, les premiers primates, dont une lignée s'est divisée, il y a six à sept millions d'années, en une branche qui a mené aux chimpanzés actuels et une autre d'où est issu, il y a à peine deux cent mille ans – soit l'équivalent de la dernière demi-heure si la vie avait débuté il y a un an – Homo sapiens, l'espèce à laquelle nous appartenons. Cette leçon de la vie a de quoi faire réfléchir ceux qui voient dans l'émergence de l'Homme la finalité de la vie sur Terre.

Qu'en est-il de l'avenir ? D'après les estimations des cosmologues, la Terre devrait rester physiquement capable d'héberger la vie durant au moins un milliard et demi d'années, peut-être jusqu'à cinq milliards d'années, après quoi l'explosion du soleil rendra la planète définitivement inhabitable. Il paraît extrêmement peu vraisemblable que nous persistions aussi longtemps. Toute l'histoire de la vie permet de penser que nous ne sommes pas l'aboutissement de l'évolution, son couronnement, mais simplement un stade intermédiaire dans un processus destiné à se poursuivre horizontalement dans de multiples directions et, peut-être aussi, verticalement vers des stades de développement cérébral qui pourraient dépasser de loin les facultés mentales dont nous sommes si fiers, tout comme nous dépassons celles de Lucy et de ses congénères. Cette considération devrait tempérer notre hubris et inspirer en nous une bonne dose d'humilité et de modestie.

Cela étant, il n'en reste pas moins vrai que l'apparition de l'Homme représente une étape clé, un tournant dans l'histoire de la vie sur Terre. Pour la première fois, cette histoire a donné naissance à des êtres suffisamment intelligents pour comprendre la nature de la vie, au point de pouvoir la manipuler presque à volonté. Pour la première fois, la sélection naturelle n'est plus seule aux commandes. La vie peut, par notre intermédiaire, s'y ajouter ou s'y substituer. C'est une constatation en même temps exaltante et inquiétante. Exaltante, car nous pouvons désormais détourner le cours aveugle de la sélection naturelle et l'orienter dans des directions que nous aurons choisies librement

et consciemment. Inquiétante, car on peut se demander si nous possédons suffisamment de sagesse pour exercer cette redoutable responsabilité.

Un regard sur le monde d'aujourd'hui pourrait laisser craindre par les plus pessimistes d'entre nous qu'en privilégiant notre intelligence, la sélection naturelle ait négligé de privilégier en même temps la sagesse nécessaire pour en gérer les produits. N'oublions pas que la sélection naturelle n'a pas de prescience. Elle ne fait que choisir ce qui est utile au moment présent. Peut-être la sagesse n'était-elle pas utile à l'Homme préhistorique.

On ne peut qu'espérer que les générations futures deviennent conscientes de cette déficience mieux que leurs aînés, à temps pour pouvoir encore en corriger les conséquences néfastes qui se profilent à l'horizon. Si elles ne le font pas, la sélection naturelle s'en chargera pour elles, mais au prix d'épreuves qui pourraient être dramatiques pour l'espèce humaine, peut-être même pour l'ensemble du monde vivant.

Bibliographie

de Duve, C. : À l'Écoute du Vivant. Paris : Odile Jacob (2002).

de Duve, C. : Singularités. Paris : Odile Jacob (2005).

Christian de Duve dans la « Revue des Questions Scientifiques » et dans les médias.

GUY DEMORTIER
Université de Namur
guy.demortier@fundp.ac.be

Le Professeur Christian de Duve fait partie du Comité International de la « Revue des Questions Scientifiques » depuis plus de 50 ans. Comme rappelé dans plusieurs contributions de ce numéro, il est aussi l'auteur de deux articles : « Aux confins de la vie » paru en 1960 dans le tome 131- 1, rédigé à la suite d'une conférence qu'il donna en décembre 1959, à Louvain, dans le cadre des « Jeunesses Scientifiques » et, plus récemment, « Leçons de Vie » paru en 2007 dans le tome 178- 1, lequel était consacré aux comptes-rendus des conférences du colloque « Qu'est-ce que la vie ? », organisé par Jean Vandenhoute, à Namur, en janvier 2006. C. de Duve y prononça la conférence de clôture « Hasard et nécessité : 35 ans après » où il faisait part de ses conceptions sur l'émergence de la vie et de son évolution reprises pour une part dans l'article « Leçons de Vie » reproduit dans le présent numéro.

Ses divers ouvrages ont fait l'objet d'une analyse dans la rubrique : « Bibliographies » de cette « Revue » et en particulier par Robert Wattiaux, un de ses premiers collaborateurs comme on a pu le lire dans un article de ce numéro, (tome 156-3 de 1985), par André Cheval un enseignant de biologie (tomes 158-4 de 1987 et 162-2 de 1991) et par Amand Lucas, autre collaborateur à ce numéro, physicien théoricien mais aussi biologiste dans l'âme (tome 175-4 de 2004).

Afin de donner à nos lecteurs la possibilité de poursuivre leur rencontre avec Christian de Duve, nous fournissons ci-dessous une série de références à des sites internet où on peut lire le contenu de récentes interviews et l'entendre en français ou en anglais.

1. *The de Duve Institute*

Présentation de l'Institut de Duve, anciennement appelé IPC, où la priorité est réservée à la recherche fondamentale exercée dans une entière liberté mais où sont présentes aussi l'attention aux possibles applications des découvertes et à la collaboration multidisciplinaire dans une équipe de dimension appropriée pour atteindre ces objectifs.

<http://www.deduveinstitute.be/>

<http://www.icp.be/index.htm>

2. *Autobiography*

http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1974/duve-autobio.html

3. *Et Dieu dans tout ça ?*

de Duve et Euvé interrogés par Bernard Feltz.

Le scientifique Christian de Duve et le théologien François Euvé débattent de l'origine de la vie. Pour l'un, il n'existe point de Dieu interventionniste. Pour l'autre, le monde créé possède son autonomie.

<http://www.d-meeus.be/philo/textes/FeltzdeDuveEuve.html>

4. *Christian de Duve. À l'écoute du vivant*

Esprit et Vie n°133 – septembre 2005. Un ouvrage qui propose une riche synthèse d'un regard contemporain des sciences biologiques sur la vie, son histoire évolutive et son expression moléculaire.

http://www.esprit-et-vie.com/article.php3?id_article=1267

5. Interview : *Christian de Duve*

La dernière passion de Christian de Duve, c'est l'évolution de la vie: d'où vient l'homme? Comment s'est-il adapté? Peut-il prendre son avenir en main? Et on ne peut pas dire que le professeur émérite de Louvain soit optimiste. Il

craint que l'homme n'ait pas à temps un sursaut de sagesse que ses caractères génétiques ne le prédisposent pas à manifester.

<http://www.sudpresse.be/dossiers/interview/2008-06-20/christian-duve-dernier-nobel-608285.shtml>

6. *Does the Universe Have a Purpose?*

Unlikely. Lawrence M. Krauss – *Very Likely.* Bruno Guiderdoni – *Yes.* David Gelernter – *No.* Christian de Duve – *Perhaps.* Paul Davies – *Yes.* John F. Haught – *No.* Peter William Atkins – *Not Sure.* Neil deGrasse Tyson – *Indeed.* Nancey Murphy – *Certainly.* Jane Goodall – *Yes.* Owen Gingerich – *I Hope So.* Eli Wiesel

http://www.templeton.org/purpose/essay_de_Duve.html

7. *Vega Science Video Interview*

Interview, par Harry Kroto (Prix Nobel de physique), de Christian de Duve lors de la réunion annuelle des lauréats Nobel à Lindau (2005) – en anglais

<http://vega.org.uk/video/programme/126>

8. *Christian de Duve : Biochemist*

C. de Duve parle de sa vocation de biochimiste (en anglais).

<http://www.peoplesarchive.com/browse/movies/6523/>

9. *Interview, June 2000*

Christian de Duve parle de ses activités en biochimie, des différences entre les laboratoires américains et européens et comment diriger ces deux types de centres de recherches, de sa découverte des lysosomes et des peroxysomes, de la manière de créer et de maintenir une culture de la créativité, de l'influence d'un prix Nobel dans le développement des sciences (en anglais).

http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1974/duve-interview.html

10. *Les leçons de vie*

Discours prononcé, à l'Académie de médecine de Belgique, lors de la séance scientifique d'hommage au Professeur A. de Scoville, le 24/09/2005, manifestation rehaussée de la présence de S. M. la Reine Fabiola

<http://www.amb.be/gene-12.htm>

11. *Omega TV*

Peut-on comprendre la vie par la chimie ? Christian de Duve nous explique comment l'on peut comprendre la vie par la chimie.

et

L'évolution du monde et de l'espèce humaine : Christian de Duve nous explique l'évolution du monde et de l'espèce humaine.

<http://www.omegatv.tv/video/1422258662/sensdelavie/univers/science--l-evolution-du-monde-et-de-l-espece-humaine>

12. *Guy Duplat : L'appel solennel de de Duve*

Un livre testament très important du prix Nobel belge, 91 ans. Christian de Duve en appelle à un sursaut pour sauver l'humanité. Le plus grand scientifique belge (avec Prigogine), Christian de Duve publie un nouveau livre chez Odile Jacob qui est un appel solennel à un vrai sursaut pour sauver, tant qu'il en est encore temps, l'humanité et le monde vivant. "*Ce vœu fervent sera mon mot de la fin*", écrit-il en conclusion, jouant sur l'ambiguïté entre la fin de son livre et la fin de sa vie qui approche inexorablement.

<http://www.lalibre.be/culture/livres/article/511122/l-appel-solennel-de-de-duve.html>

13. *Saturne, Jupiter, Darwin: on peut se libérer des dieux*

Dans l'émission du 16 juillet 2009, Christian de Duve explique par la biologie, que la nature de l'homme n'est pas forcément égoïste, ni inégalitaire...

http://www.marianne2.fr/Saturne,-Jupiter,-Darwin-on-peut-se-liberer-des-dieux_ar81555.html

14. *The Beginnings of Life on Earth*

Advanced forms of life existed on earth at least 3,55 billion years ago. In rocks of that age, fossilized imprints have been found of bacteria that look uncannily like cyanobacteria, the most highly evolved photosynthetic organisms

present in the world today. Carbon deposits enriched in the lighter carbon-12 isotope over the heavier carbon-13 isotope – a sign of biological carbon assimilation – attest to an even older age. On the other hand, it is believed that our young planet, still in the throes of volcanic eruptions and battered by falling comets and asteroids, remained inhospitable to life for about half a billion years after its birth, together with the rest of the solar system, some 4.55 billion years ago. This leaves a window of perhaps 200-300 million years for the appearance of life on earth.

<http://www.americanscientist.org/issues/feature/the-beginnings-of-life-on-earth/1>

15. Rencontre de Lise Thiry, virologue, avec Christian de Duve

LISE THIRY: Récemment, une amie m'a dit: "J'ai lu le livre de Christian de Duve. C'est extraordinaire, je crois que j'ai tout compris. J'ai eu le sentiment de recevoir en cadeau un peu d'intelligence..." Le don pédagogique, c'est une forme de générosité. C'est ce qu'on éprouve en face de bons... "vulgarisateurs", mais cela n'est pas un joli mot.

CHRISTIAN de DUVE: Ce n'est pas de la vulgarisation que je fais, je n'essaie pas de «descendre» de niveau, mais de partager avec le plus de monde possible, sur le peu que j'ai retiré d'une longue vie au contact avec la cellule.

<http://www.md.ucl.ac.be/histoire/deduve/deduverenc.htm>

16. «La vie est inscrite dans le cosmos»

Le Nouvel Observateur. – Estimez-vous qu'il existe aujourd'hui un conflit, ou des conflits, entre science et religion ? « La vérité scientifique n'est pas une question de croyance mais de fait et je ne puis admettre que les religions m'obligent à croire des affirmations en contradiction avec ce que je sais », affirme le prix Nobel de médecine 1974.

<http://www.amessi.org/-CHERCHEURS-SAVANTS-et-DECOUVERTES->

Philosophe et théologien malgré moi

CHRISTIAN DE DUVE

Ce n'est pas sans embarras que je me trouve aujourd'hui mis à l'honneur par la vénérable Revue des Questions scientifiques, longtemps un bastion de ce qu'on appelait jadis la « science catholique ». Mon embarras est d'autant plus grand que je dois cette distinction, non pas à mon œuvre scientifique, mais à ses aspects « philosophiques et théologiques ». Cette étonnante mention demande quelques explications dont on voudra bien excuser le caractère personnel.

Entré à l'Université catholique de Louvain en 1934, avec l'intention de devenir médecin, j'en suis sorti 12 ans plus tard, non seulement docteur en médecine, avec une expérience en cancérologie, mais aussi agrégé de l'enseignement supérieur, avec une thèse sur l'action de l'insuline effectuée dans le laboratoire de physiologie du professeur Joseph Bouckaert, ainsi que licencié en sciences chimiques, avec un mémoire sur la purification de la pénicilline, un sujet fort éloigné de mes intérêts scientifiques, mais qui me donna l'occasion inattendue d'apporter une modeste petite pierre aux fondations d'une entreprise naissante, la société RIT, qui devait prendre un développement considérable sous la houlette du futur premier recteur de la KUL, Piet De Somer, jusqu'à se trouver finalement englobée dans le géant britannique GSK, qui lui doit d'être établi en Belgique aujourd'hui.

Aider à créer une nouvelle industrie n'entraînait pas dans mes objectifs de l'époque. Je n'avais qu'une seule ambition : élucider le mécanisme d'action de l'insuline sur le foie, objet de mes premiers travaux, ce qui, à mon sens, ne pouvait se faire qu'avec les moyens de la biochimie. D'où ma décision d'étudier la chimie lorsque la guerre se prolongea, suivie après la fin de celle-ci

d'une spécialisation en biochimie acquise en Suède et aux Etats-Unis sous la direction de maîtres éminents, dont quatre devaient se voir attribuer un prix Nobel.

Nommé à la chaire francophone de biochimie de la Faculté de médecine de l'UCL, je pus enfin, avec un petit noyau d'élèves qui se révélèrent être des collaborateurs de qualité exceptionnelle (Géry Hers, récemment décédé, Jacques Berthet, son épouse Lucie, également décédée, Henri Beaufoy et Robert Wattiaux, pour ne citer que les ouvriers de la première heure), m'attaquer au début de l'année 1948 au problème de l'action de l'insuline qui avait motivé toute ma spécialisation. Ironie du sort, une observation fortuite qui titilla ma curiosité me poussa bientôt à me détourner de cet objectif, qui ne devait être repris que 50 ans plus tard par un élève de Hers, Émile Van Schaftingen, directeur de ce qu'on appelle aujourd'hui l'Institut de Duve (voir ci-dessous). Pour ma part, ce que je pensais n'être qu'une infidélité passagère se mua en divorce. La piste ouverte par le hasard m'engagea dans une nouvelle direction, inaugurée aux Etats-Unis par notre compatriote Albert Claude et visant à fractionner les cellules par centrifugation et à caractériser les fractions ainsi obtenues par des méthodes biochimiques. Cette voie conduisit à la découverte de deux organites cellulaires, les lysosomes (1955) et les peroxysomes (1965), et, par le biais de ceux-ci, au prix Nobel de médecine 1974, partagé avec Albert Claude et avec un élève de ce dernier, d'origine roumaine, George Palade.

Parmi les événements qui ont marqué ce parcours, je retiendrai surtout ma nomination, en 1962, au Rockefeller Institute for Medical Research de New York (aujourd'hui Rockefeller University), un centre de recherches emblématique, immortalisé par Sinclair Lewis dans son célèbre *Arrowsmith* et connu dans le monde entier pour la qualité de ses chercheurs, l'importance de ses découvertes et le climat exceptionnel qui y régnait. C'est là que Claude effectua ses principaux travaux, de 1929 à 1949, avant de revenir en Belgique pour prendre la direction de l'Institut Bordet, puis, après sa retraite, occuper un laboratoire mis à sa disposition par l'UCL. Ainsi, ce personnage extraordinaire, docteur en médecine de l'Université de Liège – où il fut admis avec un simple certificat d'école primaire (grâce à une dispense accordée aux héros de la Guerre) – eut-il la particularité, sans doute unique, d'avoir été attaché aux trois universités francophones du pays. Il mériterait que j'en dise plus, mais je dois rester bref.

Pour ma part, être admis dans ce cénacle constituait une chance extraordinaire, qui a eu sur ma vie et sur celle de nombreuses autres personnes des retombées qui se font encore sentir aujourd'hui. Les circonstances ont fait que je pus combiner ma nomination à Rockefeller avec la poursuite de mes activités en Belgique, dirigeant simultanément, au prix de fréquentes navettes, effectuées en sens inverse par un de mes collaborateurs seniors, deux laboratoires séparés par l'Atlantique et comptant chacun jusqu'à plus de trente chercheurs. Ce fut une expérience extraordinairement enrichissante pour tous les participants, déterminante pour certains.

De cette aventure est née une autre, en partie inspirée par elle, la création, sur le nouveau site de la Faculté de médecine de l'UCL à Woluwé-Saint-Lambert, d'un institut international, multidisciplinaire de recherche biomédicale, appelé originellement Institut International de Pathologie Cellulaire et Moléculaire (ICP) et rebaptisé récemment, par des amis mieux intentionnés qu'avisés, du nom d'Institut de Duve. Inauguré en 1974, ce mini-Rockefeller, fondé comme son modèle, mais à une échelle bien plus modeste, sur la qualité et la liberté des chercheurs, est devenu un centre florissant dont la réputation a dépassé nos frontières.

Tout cela, en m'excusant d'en dire tant sur ma personne, pour expliquer qu'il n'y avait pas beaucoup de place pour la philosophie et la théologie dans mes préoccupations de l'époque; ni même pour les nombreux domaines de la biologie cellulaire qui n'étaient pas liés directement à mes seuls objets d'intérêt. Plus profondément on creuse, plus l'horizon se rétrécit.

Un cycle de quatre conférences données à l'Université Rockefeller en 1976, pour un public de 550 jeunes filles et garçons sélectionnés dans toutes les écoles de la région new-yorkaise, m'a fait sortir de mon trou et commencer à regarder autour de moi. Je choisis de transformer mes jeunes auditeurs en « cytonautes » et de les emmener dans une *Visite guidée de la Cellule Vivante*, avec comme première obligation pour moi-même de combler les trous immenses dans mes connaissances de biologie cellulaire. Suite à des circonstances sans intérêt, cet effort d'élargissement s'est mué en un ouvrage du même nom, abondamment illustré, qui parut aux États-Unis en 1984 et en Belgique en 1987, dans une traduction française réalisée par mon ami Alain Amar-Costesec.

Ce fut le début d'une nouvelle aventure. Grâce à des loisirs professionnels croissants et au hasard des gènes et de l'environnement qui m'ont aidé à ne pas subir trop vite « des ans l'irréparable outrage », j'ai pu poursuivre pendant plus de vingt ans un long voyage d'étude et de réflexion, avec à chaque étape le besoin d'en partager les fruits.

Dans ce voyage, j'ai commencé par condenser toutes les découvertes auxquelles j'ai eu le privilège d'assister durant ma carrière et qui ont nourri mon enseignement. Il faut dire que j'appartiens à une génération unique, témoin d'événements exceptionnels dans l'histoire des sciences de la vie. Partant de connaissances rudimentaires, réduites en grande partie à ce que laissait entrevoir le microscope optique, on a, en à peine plus d'un demi-siècle, découvert l'architecture fine des cellules et les fonctions de leurs principaux organites; déchiffré la structure moléculaire des polysaccharides, lipides, acides nucléiques, protéines et autres substances complexes qui servent à construire les cellules dans tout le monde vivant; élucidé les réactions biochimiques qui assurent la synthèse de toutes ces molécules; clarifié les mécanismes par lesquels les êtres vivants extraient de l'énergie de la lumière solaire ou de la dégradation de leurs aliments, avec ou sans oxygène, et transforment cette énergie en diverses formes de travail, chimique, mécanique, osmotique, électrique ou autre; et, enfin, décodé le langage génétique et éclairci les processus moléculaires par lesquels les instructions génétiques sont consignées dans le génome, répliquées à chaque génération et exécutées pour assurer le développement et le maintien des êtres vivants. Alors que l'on ne savait presque rien de la vie lorsque j'ai commencé ma carrière, on peut dire aujourd'hui qu'on la comprend. Beaucoup de détails restent à préciser; des surprises nous attendent sans doute encore. Mais l'essentiel, ce qui est commun à tout ce qui vit, est compris. C'est une histoire fabuleuse.

Toutes ces découvertes, j'ai eu le bonheur de les vivre, de les apprécier avec un enthousiasme croissant et de les partager avec mes étudiants. En faire la synthèse en une vision d'ensemble regroupant les grandes lignes de l'organisation commune à tous les êtres vivants fut mon premier objectif, d'abord dans *Construire une Cellule* (1991) et, plus récemment, dans *Singularités* (2005), ouvrages relativement spécialisés destinés à un public averti.

Cet effort de synthèse me conduisit tout naturellement à m'intéresser à l'origine de la vie, domaine de recherche dont j'avais vu l'éclosion dans les années cinquante et auquel je pus même faire par la suite quelques contribu-

tions théoriques qui m'ont valu d'être admis dans le cercle étroit des spécialistes de la question et de participer à leurs activités. La deuxième partie de *Construire une Cellule* aborde déjà ce problème.

Dans la suite, mon voyage d'exploration m'a fait suivre la vie dans les longues étapes de son histoire de plus de 3,5 milliards d'années, accompagner Darwin dans sa reconstruction de l'évolution biologique et dans sa découverte fondamentale de la sélection naturelle comme mécanisme de cette évolution, me joindre aux pionniers de l'anthropologie sur les premières traces de l'humanité et tenter de comprendre les tentatives des neurobiologistes pour percer les secrets du cerveau humain. Les notes prises au cours de ce voyage sont reprises dans *Poussière de Vie* (1996) et *À l'Écoute du Vivant* (2002). Finalement, au bout de ce long périple, je me suis tourné vers le futur, dans *Généralité du Péché Originel* (2009), un ouvrage où je me penche sur le problème brûlant de l'avenir de l'humanité à la lumière de la notion darwinienne de la sélection naturelle.

C'est au cours de ces dernière étapes de mon aventure que je me suis risqué à aborder des questions qui touchent à la philosophie et, de très loin, à la théologie. Le sujet ne m'était pas entièrement étranger. Je l'avais effleuré 75 ans plus tôt, chez les pères jésuites du Onze Lieve Vrouw College, à Anvers, qui m'avaient initié – dans les deux langues nationales! – aux cinq (ou était-ce sept ou neuf?) preuves de l'existence de Dieu énoncées par l'Apologétique, ainsi qu'à la logique et à la méthode déductive de raisonner à partir d'une prémisse tenue pour évidente *a priori*, à la manière d'Aristote et de Saint-Thomas d'Aquin. Mes professeurs avaient été tellement convaincants, tout en me décourageant des sciences exactes, dont ils se méfiaient et qu'ils enseignaient fort mal, que, rebuté par l'épreuve préalable de trois candidatures en sciences naturelles et médicales, j'ai manqué de pas suivre la vocation qui me poussait vers des études de médecine.

Je n'étais pas habité par le doute à cette époque et j'étais singulièrement dénué d'esprit critique. Ce qu'on m'enseignait était logiquement cohérent et me satisfaisait. N'étant pas d'un naturel contestataire, j'avais une tendance à m'incliner devant l'autorité. Les cérémonies religieuses m'émouvaient et je cédaï volontiers à un certain mysticisme, surtout lorsque je me trouvais en pleine nature en compagnie de mes amis boy-scouts. N'était l'obligation de célibat, j'aurais même pu me laisser tenter par les ordres.

À l'université, j'ai commencé par suivre mes professeurs de biologie dans leurs convictions vitalistes, dévorant les livres de Bergson, Cuénot, Vialleton, Lecomte du Nouy, Carrel et autres défenseurs d'une vision mystico-finaliste du phénomène vivant, encore très nombreux dans la France de l'époque. Il en fut ainsi jusqu'au jour où le professeur Bouckaert, chez qui je travaillais comme étudiant-chercheur, fut pris d'un éclat de rire en lisant un essai que je lui avais soumis et dans lequel je parlais pompeusement de la Vie, écrite avec un grand V, comme étant animée par une force mystérieuse.

Contrairement à la majorité de ses collègues, Bouckaert était un mécaniste convaincu, ce qui ne l'empêchait pas d'être un bon chrétien pratiquant. Il observait le principe du NOMA (Non-Overlapping Magisteria) 65 ans avant que le biologiste et auteur à succès américain Stephen Jay Gould ne l'eût proposé dans son *Rocks of Ages* (2001). Pour lui, comme plus tard pour Gould, science et religion appartenaient à des domaines différents qui ne se chevauchaient pas. Dans sa vision mécaniste, Bouckaert était inflexible. Pour lui, les sciences, y compris les sciences de la vie, même la neurobiologie, avaient pour objets des phénomènes entièrement explicables en termes de physique et de chimie. Je l'ai écouté et, depuis lors, Descartes et Claude Bernard sont devenus mes maîtres à penser. Ma dette à l'égard de ce patron exceptionnel est immense. Sans lui, je ne serais jamais devenu un scientifique valable.

Bouckaert était un cérébral, qui dirigeait son laboratoire depuis son bureau. Il était secondé sur le terrain par son chef-de-travaux, Pierre-Paul De Nayer, qui m'a appris, comme le firent ensuite mes maîtres étrangers, à quel point la bonne recherche est tributaire, non seulement d'une rigueur et d'une honnêteté intellectuelles sans failles, mais aussi de la qualité des manipulations, des instruments et des techniques qu'on utilise. Ce fut aussi la leçon d'Albert Claude, qui fit les découvertes qu'on lui doit grâce aux techniques et instruments qu'il a créés et que mes élèves et moi-même avons adoptés et perfectionnés à notre tour.

Absorbé de plus en plus par la passion de chercher et la joie rare de trouver, j'ai longtemps relégué sur le côté mes préoccupations métaphysiques, à l'exception d'un embarras croissant de me trouver associé à une université soumise à une autorité confessionnelle dogmatique, que j'acceptais moins facilement que ne le faisait mon maître Bouckart. Heureusement, la liberté de la recherche était bien ancrée dans la tradition de l'Université catholique, dont

les désaccords avec le Vatican étaient notoires, même au temps dont je parle. Jamais une « biochimie catholique » ne me fut imposée.

Il n'empêche que le Louvain de cette époque était fortement cléricalisé. Tous les postes supérieurs étaient exercés par des ecclésiastiques. Les professeurs nouvellement nommés prêtaient serment de fidélité devant la *Sedes Sapientiae*. Les cours étaient généralement introduits par une prière, ou, au minimum, par un bref signe de croix. La pratique religieuse était, sinon imposée au corps professoral, du moins prise comme allant de soi. Dans cette ambiance, je parlais peu de religion, sauf avec mes intimes.

Même quinze ans après ma retraite, j'hésitais encore à m'exprimer publiquement. J'ai confié mes scrupules dans l'Avant-Propos de mon ouvrage *À l'Écoute du Vivant*, paru en 2002, dans lequel je me livre pour la première fois, tout en m'excusant auprès de mes collègues et amis louvanistes de heurter peut-être leurs convictions. J'ai su plus tard que j'avais tort de m'inquiéter. Le Louvain d'aujourd'hui n'est plus celui de ma jeunesse. Nombreux sont ceux qui m'ont remercié de dire tout haut ce qu'ils pensaient tout bas. Il n'y avait d'ailleurs pas de quoi se scandaliser indûment.

Je dois reconnaître que ma pensée en matière de philosophie et de religion est longtemps restée hésitante, et l'est toujours. Je ne suis catégorique que quand il s'agit de défendre la liberté de pensée et la rigueur et l'honnêteté intellectuelles et de rejeter toute forme de dogmatisme et d'autoritarisme. À ma connaissance, nombreux sont les chrétiens et, même les ecclésiastiques qui me rejoignent sur ce plan. Pour le reste, je respecte les croyances de chacun et je n'impose pas les miennes lorsqu'elles se fondent sur des préférences personnelles et non sur des arguments que j'estime rationnellement irréfutables. Je conserve même un fonds de sympathie pour le mysticisme romantique de mon enfance, qui inspire dans une certaine mesure ma notion d'une « Ultime Réalité » à plusieurs facettes, que l'on approche séparément par l'intellect, l'émotion artistique, la préoccupation éthique et l'amour, pour les englober finalement en une contemplation unique qui rejoint celle des mystiques. Contrairement à Jacques Monod, je n'ai jamais embrassé l'idée d'un univers absurde qui n'était « pas gros de la vie », ni celle d'une biosphère qui n'était « pas grosse de l'homme ». Pour moi, l'univers porte dans sa nature les germes de la vie et par celle-ci, ceux d'une conscience intelligente. Et cela me paraît

signifiant. Ces notions restent cependant fumeuses, j'en conviens, plus poétiques que rationnelles.

Il ne m'appartient pas, dans ce bref commentaire, de m'étendre plus avant sur des questions comme le dualisme matière/esprit, la notion de création par un Créateur distinct de son œuvre, ou d'autres terrains extra-scientifiques dans lesquels ma réflexion m'a conduit à faire intrusion. Je me suis abondamment exprimé sur ces questions ailleurs. J'ai simplement voulu expliquer comment j'ai été amené, comme Monsieur Jourdain faisait de la prose, à faire de la philosophie et de la théologie sans le savoir. On conviendra que le résultat est plutôt mince et est loin de mériter l'honneur qui lui est fait ici. Mais je ne puis que m'incliner devant la décision de ceux qui ont pris cette initiative et leur dire combien j'y suis sensible.

Bibliographie

- de Duve, C. *Une Visite Guidée de la Cellule Vivante*. Bruxelles : De Boeck-Wesmael (1987).
- de Duve, C. *Construire une Cellule*. Bruxelles : De Boeck-Wesmael (1990).
- de Duve, C. *Poussière de Vie*. Paris : Fayard (1996).
- de Duve, C. *Singularités*. Paris : Odile Jacob (2005).
- de Duve, C. *Génétique du Pêché Originel*. Paris : Odile Jacob (2009)
- Gould, S. J. *Rocks of Ages*. Londres : Jonathan Cape (2001).
- Lewis, S. *Arrowsmith*. New York : Harcourt, Brace & World (1924).

Codicille

Parcourant avant leur mise sous presse, certains pour la première fois, les articles que mes amis ont bien voulu consacrer à ce qu'ils appellent généreusement mon « œuvre », je suis partagé entre le plaisir – « on me prend au sérieux » – et la surprise – « je ne m'y attendais pas ». Je dois reconnaître, sans fausse modestie, que le second sentiment domine.

Ce que, personnellement, j'accepterais d'appeler mon œuvre – en lui ajoutant un correctif collectif, car je n'ai rien fait seul – c'est le cheminement,

retracé par Robert Wattiaux, qui m'a conduit aux découvertes scientifiques qu'on associe à mon nom. Ce cheminement a été fait d'un mélange de hasard et de nécessité. Le premier m'a permis de rencontrer d'éminents scientifiques qui ont influencé toute ma carrière, d'acquérir des collaborateurs d'élite qui ont joué un rôle décisif dans le succès de nos travaux et de tomber sur des observations fortuites qui ont ouvert la voie à certaines de nos plus importantes découvertes. La seconde a été l'exigence de rigueur et de rationalité, héritée de mes maîtres et complétée par mes collaborateurs, qui a constamment guidé notre démarche.

Ce cheminement a été ralenti par la création de l'institut auquel on associe mon nom, pour céder progressivement la place à une réflexion plus générale, objet des livres que mes amis commentent. Pour moi, ces livres n'ont été rien d'autre qu'une succession de notes prises au cours d'un voyage personnel d'étude, de pensée et de découverte que j'ai eu le bonheur de pouvoir poursuivre pendant plus de vingt ans. Il est vrai que j'ai adressé ces notes à un lecteur ou lectrice imaginaire, suivant en cela une ligne qui m'a toujours inspirée : d'abord essayer de comprendre; puis tenter de communiquer à d'autres ce que je crois avoir compris, avec la joie et l'enthousiasme que ce sentiment m'a inspirés. Mais, à aucune étape de ce long voyage, je n'ai eu le sentiment d'élaborer une thèse ou de défendre une opinion. Je n'ai jamais ressenti le désir ou le besoin de convaincre. En toute sincérité, j'ai toujours été conscient du caractère progressif et superficiel de ma démarche. Non seulement, je ne suis ni philosophe, ni théologien. Je ne suis pas plus généticien, embryologiste, évolutionniste, paléontologue, anthropologue, éthologiste ou neurobiologiste. J'ai touché à tout, mais ne suis expert en rien, sauf – et encore au passé – dans certains domaines étroits de la biochimie et de la biologie cellulaire. Le fait que ces vastes lacunes ne soient pas relevées par mes commentateurs ne peut être qu'une preuve de leur générosité et de leur indulgence. En accordant, de surcroît, une certaine signification à ce qui pour moi a été une simple réflexion personnelle, ils me font un honneur aussi inattendu qu'immérité, qui m'a profondément touché.

Nethen, ce 26 avril 2010

Bibliographies

Biologie

J. FARINEAU & J.-F. MOROT-GAUDRY – LA PHOTOSYNTHÈSE. PROCESSUS PHYSIQUES, MOLÉCULAIRES ET PHYSIOLOGIQUES – 1 vol 403 pp. – (16 × 23) – Broché – 49 € – Collection Synthèses INRA – 2006. – ISBN 2-7380-1209-4

Cet ouvrage, écrit en français par des chercheurs de l'INRA, comprend plusieurs parties. La première est une introduction au processus photosynthétique. Divisée en quatre chapitres, elle est assez accessible au non-initié. Le 1^{er} chapitre est un historique de la découverte de la photosynthèse, qui nous rappelle que des notions que nous pourrions trouver élémentaires ont été acquises au cours d'une très longue période, commençant au XVII^e siècle par l'expérience de Van Helmont, qui démontrait pour la 1^{ère} fois que les plantes vertes se « nourrissent » de l'air ambiant. Et c'est vers les années 1780 que les échanges gazeux sont mis en évidence par des expériences simples mais ingénieuses. Quant au rôle de la chlorophylle, il ne sera découvert qu'au XX^e siècle. De façon très utile, le même chapitre reprend les bases des réactions d'oxydo-réduction et montrent que différentes molécules peuvent servir de donneurs d'électrons. Le 2^e chapitre traite de la lumière et des pigments (chlorophylles, bactériochlorophylles, caroténoïdes, phycobilines), des spectres d'absorption et introduit les unités photosynthétiques. Ceci mène logiquement au 3^e chapitre, qui traite des antennes et des centres réactionnels, en partant de l'exemple simple de *Chlorobium*, bactérie verte sulfureuse, et progressant ensuite vers les structures plus complexes des organismes à photosynthèse oxygénique. Cette introduction se termine par un court chapitre consacré à la classification des organismes photosynthétiques. Cette classification est peut-être un peu trop simplifiée, notamment au niveau des phyla eucaryotes, et ne met pas en évidence le rôle des endosymbioses dans l'apparition des chloroplastes chez les eucaryotes et les différentes lignées de protistes photosynthétiques (ce point est cependant traité au chapitre 13, mais il manque un renvoi vers celui-ci dans l'introduction). En bref, une introduction bien faite dans l'ensemble, abordable dans un cours de 1^{er} cycle, mettant bien en place les bases du mécanisme et son évolution.

Les deux parties suivantes de l'ouvrage sont beaucoup plus spécialisées et comportent des chapitres nettement plus ardues. La 2^e partie est consacrée à la photosynthèse des plantes terrestres. On y traite d'abord logiquement des feuilles et des chloroplastes (chap.5), puis des différents aspects de la photosynthèse oxygénique (chap. 6-10), dans tous ses détails. De façon intéressante, cette partie se termine par un court chapitre sur la photosynthèse des algues et des cyanobactéries, qui met en particulier en évidence le rôle des phycobilisomes au niveau du photosystème II. Un court paragraphe mentionne les prochlorophytes, mais ne précise pas clairement qu'il s'agit bien de cyanobactéries et qu'ils ne sont pas, comme le suggère leur nom, les ancêtres des chlorophytes (ce qui est néanmoins précisé à la p. 227, dans le chapitre 13).

La 3^e partie traite de la photosynthèse anoxygénique (chap. 12), de façon plus détaillée que dans le chap. 3, et se termine par un regard sur l'évolution des organismes photosynthétiques ou l'endosymbiose est évoquée, ainsi que l'origine des principaux groupes d'eucaryotes photosynthétiques.

La 4^e partie est typiquement plus biochimique : elle est consacrée au métabolisme du carbone (plantes en C₃ et C₄), aux deux fonctions de la rubisco, au cycle de Calvin etc. Les chapitres suivants abordent les métabolismes azotés et soufrés chez les plantes et leur dépendance du métabolisme carboné, la synthèse des glucides et des polysaccharides et les cas particuliers des plantes en C₃ et CAM.

La dernière partie, intitulée « photosynthèse et environnement » commence par un chapitre sur la physiologie photosynthétique de la plante entière (échanges gazeux et leur régulation, effets des facteurs environnementaux), puis passe à la mesure de la photosynthèse au niveau du couvert végétal terrestre. Elle se termine par des considérations sur les contraintes environnementales actuelles (eau, augmentation atmosphérique du CO₂) et enfin par des éléments sur le bilan planétaire en carbone. L'ouvrage se termine par une courte annexe sur les herbicides et par un glossaire et les références bibliographiques.

En résumé, un ouvrage assez complet sur la photosynthèse, assez technique, qui détaille surtout les processus aux niveaux moléculaire et cellulaire, où le lecteur trouvera réponse à de nombreuses questions. Il faut souligner que le livre est bien illustré par des figures et des schémas clairs (en niveaux de gris et de rouge) et quelques planches en couleurs. Il peut constituer un ouvrage de référence, s'adressant à un public plutôt de spécialistes et de professeurs de l'enseignement supérieur. S'il faut regretter quelque chose, on peut mentionner que, bien que l'évolution du processus photosynthétique soit très bien mise en évidence, l'évolution des organismes photosynthétiques est traitée de façon fort succincte. Pour cet aspect des choses, ainsi que pour la photosynthèse en milieu aquatique, le lecteur pourra se référer à l'excellent ouvrage « Aquatic photosynthesis » de Falkowski et Raven (2^e édition, 2007, Princeton University Press).

JEAN-PIERRE DESCY

STICKNEY ROBERT R. – AQUACULTURE. AN INTRODUCTORY TEXT, 2ND EDITION – Un volume de 304 p. – CABI, Wallingford, UK – 2009 – ISBN 13-978-1-84593-543-6.

Bien que cette seconde édition soit dédiée aux enseignants et chercheurs en aquaculture, il reste assez général, fort descriptif et manque d'informations techniques précises que tout aquaculteur souhaiterait trouver pour renforcer ses capacités. Néanmoins l'auteur a actualisé les données dans quasi tous les secteurs que couvre maintenant cette discipline en pleine expansion. Structurer en 9 chapitres tous terminés par un résumé et des lectures conseillées pour approfondir le sujet, cet ouvrage promeut l'aquaculture durable et suscitera l'intérêt de tout novice dans le domaine ainsi que tout enseignant non spécialisé. On y regrettera seulement quelques répétitions de chapitre en chapitre notamment dans le domaine de la préparation des aliments et de la nutrition des poissons.

Le premier et excellent chapitre fait un large tour d'horizon de l'aquaculture devenue incontournable vu l'accroissement de la demande des produits aquacoles et l'extinction de la plupart des stocks naturels de poissons, de mollusques, de crustacés, etc. presque partout surexploités en eaux douces, en eaux de mer comme en eaux saumâtres. On y constatera que l'aquaculteur doit être plutôt multidisciplinaire pour mener à bien sa ou ses productions et que l'aquaculture implique de maîtriser la production des organismes produits qui peuvent être fort divers (algues micro ou macroscopiques, mollusques bivalves, crustacés et poissons d'eaux douces, de mer ou d'eaux saumâtres en milieu calme ou courant, de niveau trophique différent, etc.) et produits à des fins alimentaires, récréatives comme pharmacologiques. Les défis actuels après un développement exponentiel continu depuis près de 20 ans seront de promouvoir une aquaculture plus durable, mieux intégrée dans son environnement, imprégnée d'éthique et de justice sociale mais aussi respectant l'environnement. À cet égard, les dernières conférences mondiales d'aquaculture ont proposé des lignes de conduite pour le développement de l'aquaculture et recommandé de bonnes pratiques de gestion impliquant l'application du principe de précaution sans oublier le bien-être animal. Ce chapitre se termine par une série de 15 questions et réponses synthétisant le développement parfois anarchique de l'aquaculture mais aboutissant à un avenir durable.

Le second chapitre consacré au choix des sites et à la qualité des eaux décrit toutes les sources d'approvisionnement en eau et la qualité requise avec les traitements préalables possibles pour la rendre utilisable.

Le chapitre 3, plus informatif que technique, concerne tous les systèmes d'élevage de l'extensif au très intensif en circuit fermé allant même jusqu'à la culture hydroponique des légumes. On y trouvera des informations sur la culture des algues (notamment nori) les élevages de mollusques, poissons, crustacés et les prédatations possibles y compris le braconnage par l'homme.

Le chapitre 4 fait le point sur les problèmes de maintien de qualité d'eau déjà abordés précédemment et attire l'attention sur la surveillance nécessaire de la température, de l'oxygène dissous et des concentrations en nitrites et ammoniacque. L'auteur aborde également les élevages associés (notamment porcs poissons) mais apparemment avec très peu de connaissances et données techniques pourtant bien disponibles notamment dans les documents FAO.

Le chapitre 5 assez magistral fait le point sur toutes les maladies et parasites couramment rencontrés (champignons, virus, bactéries, protozoaires, helminthes et copépodes) tout en attirant l'attention sur la nécessité de limiter au préalable le stress des organismes élevés en appliquant les bonnes pratiques de gestion (Best Management Practices : BMP). On y trouvera notamment la liste des vaccins spécifiques développés ainsi que les moyens chimiques et pharmacologiques avec concentrations précises pour lutter contre ces maladies.

Reproduction et élevage larvaire est un chapitre (6) bien actualisé allant du contrôle de la reproduction à son induction par diverses hormones (HCG, LhRh, GnRh) aux manipulations génétiques (sélection, hybridation, polyploïdie, gynogenèse, transgénique) sans oublier les manipulations du sexe des larves pour obtenir des alevins du même sexe à croissance plus rapide. On regrettera toutefois l'absence d'indications précises sur les concentrations d'hormones à utiliser pour obtenir les meilleurs résultats.

Les chapitres 7 et 8 fort généraux font le point sur les aliments préparés et la nutrition animale mais ce tour d'horizon est essentiellement informatif et pour des données précises il faudra recourir à des ouvrages plus spécialisés.

Enfin le dernier chapitre (8) se consacre aux méthodes de récolte, de transformation et de commercialisation des productions et se termine par les vues intéressantes de l'auteur sur l'avenir de l'aquaculture durable.

À noter en fin de volume, l'existence d'un index qui permet de retrouver facilement toute information souhaitée.

J.-C. MICHA

Géologie

A. SCARTH – VESUVIUS : ABIOGRAPHY – I vol de X + 342 pages (16 × 24) – Relié – Princeton University Press – 2009 – 20.95 £ – ISBN 978-069114390-3

Auteur de plusieurs ouvrages sur le sujet et en particulier : « Volcanoes » paru en 1994 chez London UCL Press, « Vulcan's Fury: Man Against the Volcano » chez Yale University Press en 2001, « Savage Earth: The Dramatic Story of Volcanoes and Earthquakes » chez Harpercollins Pub (2001), « Volcanoes of Europe » chez Oxford University Press en 2001 toujours et « La Catastrophe: The Eruption of Mount Pelee, the Worst Volcanic Disaster of the 20th Century » (en 2002), éruption qui détruisit Saint Pierre de Martinique en 1902 et qui, malgré les signes précurseurs, fit 27 000

victimes, voici un nouveau livre d'Alwyn Scarth sur le plus spectaculaire site volcanique d'Europe.

L'auteur ayant décrit le mécanisme des éruptions volcaniques dans ses précédentes productions n'en fait ici qu'un bref rappel sous forme d'encadrés très didactiques et de schémas simples.

Capricieux, vibrant et fumant le Vésuve est toujours le volcan le plus dangereux du monde mais sa situation dans une région paradisiaque en fait une attraction mythique. La destruction de Pompéi et d'Herculanum en 79 n'y est certainement pas étrangère. Depuis plus de deux mille ans écrivains, artistes, penseurs et scientifiques ont subi la fascination de cette poudrière naturelle au voisinage immédiat de plus de trois millions d'habitants. Scarth suit ici le Vésuve et l'ensemble des volcans voisins de la baie de Naples à travers les âges depuis 33 000 ans B.C. jusqu'en 1984.

L'éruption du 24 août 79 est décrite, au chapitre 5, dans tous ses détails, presque heure par heure, grâce aux sources de Dio Cassius et Pline le Jeune dont les traductions des deux lettres sont reproduites en appendices. Les adolescents qui étudient encore l'Histoire de Rome trouveront ici, en 50 pages, une description historique et géographique, débarrassée de tout le contexte technique ou géologique. Vient alors un chapitre plus technique cette fois pour décrire (avec une référence à leur véhémence dans une échelle de 1 à 7) les 19 éruptions qui se produisirent entre 79 et 1500. Pour chacune de ces éruptions depuis le *x^e* siècle, l'auteur fournit une carte détaillée, toujours avec la même dimension, des coulées de lave. Une bonne douzaine de documents permettent de suivre ainsi l'évolution du paysage au cours des siècles.

Alors que le Vésuve restait calme, la région voisine des Champs Phlégréens fut le siège d'une éruption violente du Monte Nuovo en octobre 1538 décrite dans le chapitre 6. La nouvelle catastrophe du Vésuve du 16 décembre 1631 est alors décrite en détail avec de larges commentaires sur la situation politique et religieuse de l'époque et la traduction de la stèle d'Antonio Suarez, préfet chargé des routes, annonçant les futures possibles éruptions : 28 autres événements de relativement faibles conséquences se produiront dans la région durant les 160 années suivantes. À partir du *xix^e* siècle l'examen scientifique attentif des pentes du Vésuve et des volcans des Champs Phlégréens a permis de tirer profit des enseignements des violentes éruptions de 1822, 1872, 1906 et 1944.

Dans son dernier chapitre « Le futur : l'éruption à éviter », Scarth s'attache à ce qu'il a recueilli des habitants de Campanie à savoir une confiance presque aveugle dans les croyances religieuses plus que dans les recommandations du gouvernement, au vu des résultats d'une simulation d'évacuation réalisée en 2006.

Ouvrage, à caractères historique et géographique, il se lit très facilement. Le style est alerte et plaisant. Imprimé sur un papier de qualité il aura sa place dans de multiples bibliothèques publiques et privés. Toutes les illustrations sont en noir et blanc et les caractères, même parfois très petits, sont parfaitement lisibles. Quelques références sont annoncées en fin de chaque chapitre mais la bibliographie en fin de

volume est très abondante (près de 350 renvois). Un glossaire permet aux non initiés de se retrouver dans le vocabulaire des spécialistes.

GUY DEMORTIER

Mathématique

E. MAOR – e : THE STORY OF A NUMBER – Un vol de XIV+ 227 pages – 15 × 23 – Broché – Princeton U.P. – Princeton and Oxford – (2009), 10,95 £ – ISBN 978-0-691-14113-3

Voici donc, en format broché, la réédition d'un livre paru pour la première fois en 1994, sur un nombre qui a fasciné l'auteur (comme certainement beaucoup de lycéens découvrant les logarithmes), seconde fascination après la découverte du nombre π dès l'école primaire.

C'est d'ailleurs après la découverte du livre de P. Beckmann : « History of π » (paru en 1977 et résumé dans le chapitre 6 du présent volume) que E. Maor, professeur d'histoire des mathématiques à Loyola University et a Graham School of General Education de l'Université de Chicago, entreprit d'écrire le présent ouvrage. Maor avait déjà écrit « To infinity and beyond: a cultural history of infinity » paru chez Princeton University Press en 1991.

Tous les débutants (ceux du moins qui ont apprécié les exercices de mathématiques) ont eu plaisir à manipuler ces expressions magiques contenant à la fois e , π et la racine carrée de -1 . C'est autour de ces manipulations qu'est construit le présent ouvrage.

Très didactique et abordable dès qu'on possède le bagage en mathématiques d'un bon enseignement du niveau secondaire, ce livre est encore un condensé de l'histoire du *calculus* et de son application à la physique mais encore à des domaines artistiques comme le dessin géométrique (combinaison de cycloïdes, lemniscate, chaînette et spirale), la biologie, l'architecture et la musique. Une simulation d'un dialogue entre les plus illustres représentants des familles Bach et Bernoulli est un délice.

Plus de 130 érudits ayant apporté leur contribution aux calculs impliquant e et π sont cités par ce professeur d'histoire des mathématiques.

L'ouvrage est divisé en 15 courts chapitres et de 8 appendices. Le livre aborde d'abord la notion de logarithme et son lien avec la simulation d'un calcul d'intérêts annuels (usuriers) calculés journallement sur un capital qui devrait doubler en un an pour un calcul annuel (intérêt de 100%) : soit la différence entre 2 et 2.714567 qui approche la valeur exacte de e .

Les adolescents d'aujourd'hui, à qui nous conseillons cet ouvrage, s'étonneront sans doute de découvrir l'usage de la règle à calcul qui fut le seul instrument à la disposition de ceux qui les ont précédé d'un demi-siècle. Habitué aux questions liées au calcul des limites, l'auteur attire l'attention sur les erreurs habituelles commises

par les débutants et fournit les commentaires pertinents pour les éviter. Il aborde alors les approches géométriques de calcul de surface de cercles et de polygones, de surfaces au voisinage de paraboles et d'hyperboles dans un contexte historique et critique très pointu.

Ce n'est qu'au chapitre 10 qu'on découvre la fonction e^x sous le titre « la fonction qui est identique à sa dérivée », au chapitre 11 la fonction e^{θ} sous le titre « spira mirabilis », au chapitre 12 la fonction e^{ix} qui représente « la plus fameuse de toutes les formules », et au chapitre 14 avec e^{x+iy} intitulé « l'imaginaire devient réel ».

Les amateurs de chiffres et de calculs subtils apprécieront aussi cette réédition à prix modique d'un travail fouillé d'historien de la science de base.

GUY DEMORTIER

PELAT, ALAIN – NOTIONS DE THÉORIE DES NOMBRES – Un vol. de 285 pages – 16,€24 – Paris, Blanchard, 2009. – Broché - ISBN 978-2-85367-246-7.

Cet ouvrage se veut une introduction à différents aspects de la théorie des nombres à l'usage d'un public passionné par la « reine des mathématiques ». Pour cette raison, les démonstrations sont détaillées, les exemples nombreux, et des biographies de mathématiciens concluent chaque chapitre.

Le premier chapitre introduit les entiers, à partir des axiomes de Peano, et les opérations fondamentales sur ces nombres. Il contient une « liste de notations utiles » dont beaucoup sont superflues en théorie des nombres. Le chapitre 2 s'occupe de la divisibilité et prépare le suivant, consacré aux propriétés élémentaires des nombres premiers. Il est regrettable que l'auteur parle de nombres premiers entre eux avant d'en définir explicitement la notion. Le chapitre 4 porte sur les congruences et le suivant sur la loi de réciprocité quadratique de Gauss. Ensuite, l'auteur étudie les systèmes de numération et les cryptographies à clé secrète et à clé publique. La théorie des nombres elle-même n'échappe pas aux applications militaires.

Les fractions continues font l'objet du chapitre 8, qui se termine curieusement par une très brève biographie de Charles-Jean de La Vallée Poussin, où le lecteur devra déjà savoir que $\pi(x)$ désigne le nombre de nombres premiers inférieurs ou égaux à x . Quelques équations diophantiennes sont étudiées au chapitre 9, et le choix de Paul Dirac dans les biographies peut étonner. La méthode de descente de Fermat est expliquée au chapitre suivant, avant d'aborder les développements égyptiens utilisant des fractions de dénominateur égal à un. Une fois encore, on est surpris de voir ce chapitre se terminer par une biographie de Galois, et de trouver celle de Turing à la fin du chapitre 12 exposant le principe des tiroirs de Dirichlet, dont la biographie n'apparaît qu'au chapitre 15.

Le chapitre 13 est un curieux pot-pourri de nombres particuliers : naturels, relatifs, rationnels, réels, complexes, premiers, composés, irrationnels, algébriques, transcendants, parfaits, ..., où se répètent parfois des notions déjà introduites. Il est suivi d'une étude des partitions, curieusement couronnée par la biographie de Rie-

mann où l'on se contente de dire, pour le sujet du livre, qu'il « s'intéressa aussi à la théorie des nombres ». On sait pourtant que sa conjecture sur la fonction zeta est intimement associée à la distribution des nombres premiers, objet du chapitre 15, où cette fonction est introduite et la conjecture citée. Ce chapitre ne donne pas la preuve, due indépendamment à de La Vallée Poussin et Hadamard (qui aurait, lui, mérité une biographie !) de la conjecture de Gauss-Legendre sur la distribution asymptotique des nombres premiers. L'auteur se contente de prouver les inégalités de Tchebychev.

Enfin, l'ouvrage se termine par les fonctions arithmétiques, les séries de Dirichlet et un appendice sur les liens entre la musique et les nombres, fondé sur une brève mélodie composée par l'auteur.

Les démonstrations sont souvent confuses à force d'être détaillées. Les pages 172-173, 226-227, 254-255 en sont des exemples extrêmes. Le mal est aggravé par le traitement de texte utilisé, mal adapté aux mathématiques, qui donne un résultat touffu et rébarbatif. À l'heure du *LaTeX* et de ses dérivés, c'est difficilement explicable. Le style, qui reflète l'enthousiasme de l'auteur et son souci pédagogique, est souvent trop répétitif pour être vraiment clair.

En résumé, le livre brosse un large panorama de différentes questions faisant l'objet de la théorie des nombres, mais sa lecture et son assimilation nécessiteront la consultation des ouvrages classiques consacrés au sujet.

J. MAWHIN

Médecine

JOHN A. KIERNAN – BARR'S THE HUMAN NERVOUS SYSTEM, 9^e édition – I vol. de 424 p. – 17 × 26 – 54.98 \$ – Lippincott, Williams & Wilkins, 2009, – ISBN 978-1-605-47396-3

Ce traité est destiné en priorité aux étudiants en bac de médecine et aussi sciences biomédicales. Il s'agit de la 9^e édition d'un texte assez classique, nouvelle édition à laquelle est lié un ensemble de données complémentaires accessibles sur un site web, moyennant un code donné dans l'ouvrage, pratique de plus en plus répandue.

Les avantages de ce livre sont bien ceux notés sur la couverture. Le texte est concis, parfois même un peu trop, ce en quoi les données ne sont que rarement mises en contexte. Les illustrations sont excellentes, et le tout est complété d'un index bien rédigé, et d'un glossaire très utile. Les qualités didactiques de l'ensemble sont indéniables. Il faut prévenir le lecteur qu'il s'agit toutefois d'un ouvrage où les choses sont présentées d'une manière dense, et qui demande donc à être complété par un exposé de cours classique. Toute la partie anatomique est bonne, un condensé du traité classique de neuroanatomie « *Carpenter's Human Neuroanatomy* », duquel la plupart

des schémas sont largement inspirés. La présentation est classique, avec quatre parties : Présentation des éléments du système nerveux ; Anatomie région par région ; Étude des principaux systèmes ; Vascularisation et méninges. Le tout est illustré d'exemples cliniques utiles. Certains chapitres sont supérieurs à ceux d'autres traités, et j'épingle surtout le chapitre sur la substance réticulée, très détaillé, d'un niveau qui dépasse d'ailleurs de loin ce qui est exigé des étudiants visés. En revanche, certains chapitres plus éloignés de l'anatomie stricte sont assez faibles, et même certains chapitres anatomiques, comme celui sur le cortex visuel, sont démodés et laissent à désirer. Le résumé du développement du système nerveux est tellement rudimentaire qu'il pourrait probablement être supprimé sans représenter une grande perte. La partie consacrée à l'histologie et la biologie cellulaire est aussi inférieure à ce qui est disponibles dans les traités de neurobiologie. La même remarque peut être faite à propos des données sur les fonctions neurologiques supérieures, qui sont très classiques et « datent » un peu.

En résumé, ce traité parvient à résumer l'essentiel de la neuro-anatomie d'une manière synthétique et très didactique. Comme on pourrait s'y attendre, les aspects neurobiologiques sont moins bien expliqués que dans les traités de neurobiologie comme « Neurosciences » (Dale Purves et al). En revanche, ces traités de neurobiologie sont souvent faibles en anatomie, insuffisants pour la formation des étudiants en médecine. Les deux textes sont donc indispensables : on attend encore un ouvrage qui combinerait les deux approches et serait bien utile.

JEAN GOFFINET

Physique

N. DAVID MERMIN – IT'S ABOUT TIME – UNDERSTANDING EINSTEIN'S RELATIVITY – Un vol. de XVI+ 192 pages (15 × 23) – Broché – Princeton U.P. – Princeton and Oxford – (2009) – 12.95 £ – ISBN 978-0-691-14127-5

Cette réédition de l'ouvrage paru en 2005 tente de faire admettre aux non-physiciens que la relativité restreinte, malgré ses aspects non conventionnels, a plus qu'une réalité mais est indispensable pour approcher, d'une part, nombre de problèmes tant de la physique appliquée mais aussi pour aborder les questions liées au passé et au futur de l'univers. Si le titre évoque d'abord la notion de temps, c'est pourtant à l'ensemble des grandeurs de la physique que l'auteur adresse sa réflexion sur l'œuvre fondamentale d'Einstein.

Alors que la majorité des étudiants qui abordent ces questions dans leur cursus de bachelier considèrent souvent qu'il s'agit d'une manipulation subtile d'équations, nous voici avec une approche qui ne nécessite que les connaissances fondamentales d'un cours d'algèbre et de géométrie de l'enseignement secondaire.

La remarquable approche de David Mermin fournit au lecteur les outils nécessaires pour analyser les événements à partir de divers systèmes de références : une approche très physique de la « relativité ».

À côté des traités traditionnels du sujet, l'enseignement de cette discipline trouvera dans cet ouvrage les termes adéquats pour faire passer le message.

La préface annonce la démarche partant de la réflexion de Newton qui annonce que le temps est cet « absolu mathématique qui s'écoule, de par sa nature, sans relation aucune avec tout ce qui lui est extérieur » mais qui d'après Einstein « lui semble suspect ». Une note introductive annonce les difficultés et propose des coupures dans la lecture qui n'altéreraient pas la compréhension.

L'énoncé de la séquence des chapitres permet aux spécialistes d'apprécier la pédagogie de l'auteur qui débuta sa carrière d'assistant de physique à Cornell en enseignant cette matière et qui destine même cet ouvrage à des lycéens : les 8 premiers concernent le principe de relativité, la combinaison des vitesses faibles, la vitesse de la lumière, la combinaisons des vitesses de toutes grandeurs, la simultanéité, les horloges et les objets en mouvement, le synchronisme des horloges en mouvement, les intervalles de temps (chapitres dont l'abord est aisé grâce à la clarté des illustrations). Viennent alors l'analyse de convois de fusées et la géométrie de l'espace-temps (deux chapitres plus difficiles), $E = mc^2$, et pour finir une brève introduction aux concepts en relativité générale et une analyse de « ce qui modifie » les distances et les temps dans les différents référentiels dans lesquels on fait les observations.

Ce n'est pas qu'un livre pour débutants. On a beaucoup écrit sur la relativité, mais à ceux qui pensent avoir trop lu sur le sujet nous recommandons aussi ce bel ouvrage.

GUY DEMORTIER

A. SADOFF – QUESTIONING THE UNIVERSE – CONCEPTS IN PHYSICS – Un vol de XVI + 207 pages (15,5 × 23) – Broché – CRC Press – Taylor and Francis (2009) – 38.99£ – ISBN 978-1-4200-8258-6

Écrit pour un public de non scientifiques, ce livre se veut un hommage à la physique et plus généralement à la science. Le président de la Société Américaine de Physique, Warren Weaver, déclarait récemment : « La science fondamentale n'est pas la technologie ou l'assemblage de gadgets. Ce n'est pas non plus un culte mystérieux ou un grand monstre mécanisé. La science est une aventure de l'esprit de l'homme et fondamentalement une entreprise artistique stimulée largement par une imagination disciplinée et basée sur la foi dans le raisonnable, l'ordre et la beauté de l'univers dont l'homme est une partie ». C'est dans cet esprit que A. Sadoff voulait écrire ce livre. Professeur de physique à l'Université d'Ithaca, il resta en permanence associé au centre de physique nucléaire de la Cornell University où il enseigna en plus la physique aux étudiants de disciplines non-scientifiques.

L'ouvrage se veut donc libéré des contraintes mathématiques d'un cours de physique : c'est une excellente démarche, mais elle décevra le lecteur formé dans une fa-

culté de sciences car il est difficile d'escamoter en particulier la notion de vecteur et toute équation différentielle.

Une première lecture nous a déçu. Une seconde nous a quelque peu réjoui en tentant de faire abstraction de notre formation.

Après une description du métier de physicien comme défini par Warren Weaver, Ahren Sadoff s'intéresse successivement aux notions de mouvement, de force, pour aborder alors l'électromagnétisme et une introduction au concept de champ et d'action à distance afin de donner une approche de ce que les symétries peuvent apporter pour exprimer les lois de conservation. On a ainsi parcouru, sans équation, l'esprit d'un cours de physique élémentaire.

Vient ensuite une histoire de la notion d'atome et sa suite, abordée au xx^e siècle, celle du noyau. La nature même de la lumière sert d'introduction à la relativité restreinte et à la mécanique quantique pour déboucher sur les questions très actuelles du modèle standard, des particules élémentaires et de la cosmologie.

Une suite assez classique de sujets traités dans les cours de science traditionnels.

Le style est alerte. On perçoit une grande pratique des interventions de l'auteur dans les médias et les programmes éducatifs.

Restant toutefois sur notre faim, nous souhaiterions que cet ouvrage serve à aiguïser la critique chez les futurs enseignants de physique qui pourraient tester cette démarche dans le cadre de leur formation pédagogique.

GUY DEMORTIER

