

AGONE



Le Vivant
Science & Philosophie
numéro 8/9, 1992

AGONE

Revue Trimestrielle

numéro 8/9, 1992.

Le Vivant

Depuis la question de son origine à la façon dont il a évolué ; son statut dans l'histoire de notre pensée et dans le fondement de notre société contemporaine ; jusqu'à sa place dans notre imaginaire

Sommaire

9. Évolution du vivant — *Débat.*

*Bernard Brun, Jean-François Gérard,
Pierre-Henri Gouyon, Jacques Ninio,
Pierre-Yves Quenette, Philippe Vernier*

61. La théorie biologique.

Bernard Brun

J'interprète les résistances à la logique darwinienne comme autant de faux-fuyants par lesquels, à bon compte, on échappe à cette évidence qu'il ne suffit pas de se déclarer anti-raciste ou de dénoncer le Q.I. pour avoir la garantie d'être dans une quelconque justesse éthique généralisée, et qu'aucune assurance à ce sujet ne saurait procéder de considérations scientifiques.

75. D'une sélection naturelle vers une évolution guidée par les contraintes.

Pierre-Yves Quenette & Jean-François Gérard

Au modèle du hasard et de la nécessité — hasard des mutations, nécessité des lois statistiques de la sélection naturelle — se substitue une évolution du vivant comme résultat des interactions entre les contraintes historiques et structurelles, la sélection naturelle et la dérive génétique.

93. Petite généalogie de l'espèce.

Laurence Foucaut

Nous avons du mal à nous défaire des vieilles habitudes à nommer et à classer les êtres, et lorsque nous touchons du doigt la résistance du vivant à être bien nommé, nous pensons : « Mon vocabulaire manque de précision » ; et encore une fois, nous confondons les mots et les choses.

103. Le passage du non-vivant au vivant, à l'origine.

M. Christine Maurel

Il est probable que la vie ne soit pas apparue dans les océans mais en bordure des mers ou des lacs ; des argiles ayant pu favoriser les rencontres et les concentrations de molécules organiques toutes prêtes à se lier entre elles. Les premiers « organismes » auraient alors été de nature totalement différente de ceux que nous connaissons aujourd'hui.

111. Chronique d'une vie artificielle.

Éric Bonabeau & Guy Theraulaz

Offrant la possibilité d'étudier la notion plus englobante de « vie-telle-qu'elle-pourrait-être », la vie artificielle se prétend un complément des disciplines classiques de la biologie. Toutefois, s'agissant de créer des comportements qui miment le vivant sans autre souci que celui de la ressemblance purement phénoménale, le statut explicatif des simulations (nombreuses), des modèles (moins nombreux) et des théories (rares) proposés par la vie artificielle reste à définir.

139. Syndrome de Gepetto et machine de Turing.

Nicolas Reeves

La simulation du vivant semble bel et bien confondue avec la genèse d'organismes doués d'une vie véritable : le scientifique lorgne vers le Créateur tout-puissant qui donne la vie et rédige les tables de la Loi. Le jour où l'homme saura fabriquer la vie, elle perdra de l'importance ;

et l'euthanasie pourra enfin être considérée de façon plus sereine :
il deviendra moins grave de supprimer des être vivants, *puisque'on
pourra en faire d'autres.*

157. L'architecture du goût.

Manuel Corrada

On pourrait parler de l'évolution de la nourriture, de la gastronomie et
des menus du restaurant. Après Darwin, il existe une explication prêt-
à-porter pour tout, et avec l'aval de la théorie de l'évolution, on
pourrait jeter les bases d'une architecture du goût.

163. Idée de vie et modèles biologiques dans la pensée de Nietzsche.

André Simha

Parce que l'homme est un animal dont le type n'est pas encore fixé
et que le penseur est une victoire précaire de l'individu sur le mi-
lieu, l'espérance se fonde sur l'impossibilité d'assujettir une nature
qui décoche ses flèches sans viser, et se trompe un nombre infini de fois.

181. La crise bioéthique du droit.

Olivier Salazar-Ferrer

En s'attaquant à l'ontogénèse et à la constitution génétique des sujets
du droit, la crise bioéthique est une *crise de la fondation* autant qu'une
crise de la représentation des limites de la légitimité d'une utilisation
de la *technè* sur le patrimoine naturel.

203. Contes à rebours.

Jehan Pyrr

Écoute le bruit des dents,
bien sûr la vie se nourrit d'elle même,
elle chasse,

209. Sur quelques véhicules de cette inspiration poétique.

Bruno Sibona

Les lois de l'évolution en pluie nous dament comme du sable.
Il nous faut une reine, des taupes nues et sociables.
Des vieillards monkeys s'appuient d'une main l'un sur l'autre.
Tu te bouches les oreilles et c'est une jungle que tu entends
À travers les os de ton crâne. Tu le rases. C'est un chaume.

223. Ces demeures sacrées — *Mémoires.**Jacques Charles Senez*

Le récit que nous publions ici commence à l'Institut Pasteur avant que les trompettes de la gloire ne réveillent le vieux bâtiment dont l'auteur ne resta jamais très éloigné tout en traçant son propre chemin, au CNRS, à Marseille ; un chemin qui l'amena, avec l'étude de la dégradation microbienne des hydrocarbures, à mettre au point pour la BP une production industrielle de protéines alimentaires à partir du pétrole ; un moment d'histoire des sciences durant lequel l'affaire Lyssenko, incursion violente du politique chez le savant, lui fit rendre sa carte du PCF. Mais Jacques Charles Senez n'a pas seulement raconté un moment d'histoire, il l'a écrit.

249. *Marginalia**Chroniques bucarestoises. Adrian Balcan*

Évolution du vivant

Débat

Bernard Brun

Jacques Ninio

Jean-François Gérard

Pierre-Yves Quenette

Pierre-Henri Gouyon

Philippe Vernier

Nous remercions tout particulièrement Bernard Brun, Jean-François Gérard et Pierre-Yves Quenette pour leur aide dans la constitution du cadre théorique de ce débat ; mais également Denis Becquet, Serge Dentin, Éric Discepolo et Pascal Salazar sans lesquels tout cela n'aurait pas été possible ; enfin, William Barkate, secrétaire général de l'université de Provence, qui accueillit le débat ; Philippe Crévisy de la société Euphonia, qui a sonorisé la salle et assuré l'enregistrement des interventions ; le CCSTI — Provence Méditerranée, pour ses conseils et son aide logistique.

Dans ce débat, nous ne voulons pas tant aborder des questions d'une originalité, d'une nouveauté ou d'une fraîcheur sans pareilles au sein des disciplines auxquelles appartiennent les intervenants, que formuler de la façon la plus claire possible les questions qui sont au centre des conceptions actuelles de la pensée biologique et de sa pratique de recherche — des questions qui ne datent pas d'hier (ni même d'avant-hier), et auxquelles nous espérons que des réponses seront données. S'il est évident que c'est dans la pratique actuelle de la recherche, et dans son histoire, que les éléments de réponse peuvent être trouvés, nous pensons que c'est surtout dans un effort de formulation, conçu comme un effort éthique et intellectuel, que les impasses peuvent être évitées — et parmi celles-ci, les plus confortables, dans lesquelles, trop souvent, trop de débats s'auto-entretiennent.

Thierry Discepolo & Jacques Vialle

Le statut de l'espèce au regard de la théorie de l'évolution

AGONE. La question par laquelle nous ouvrirons ce débat sur la théorie biologique de l'évolution concerne le statut logique et épistémologique du concept d'espèce en biologie.

Toute science dispose de concepts clés qui sont, à eux seuls, des concentrés de théorie, puisqu'ils permettent d'unifier des descriptions portant sur différents aspects d'une même réalité. Ainsi en est-il du concept d'espèce : il permet non seulement d'unifier toute la connaissance que l'on possède sur un type d'être biologique ; mais, surtout, il nous permet d'affirmer que l'on a bien affaire à un type d'être singulier, et non à un autre.

L'espèce, à ce titre, se distingue radicalement de tous les autres concepts qui nous permettent, en biologie, de découper et d'ordonner le monde vivant ; je pense en particulier aux concepts de genre, de famille, d'ordre, de classe, etc., qui n'ont pas, à proprement parler, d'intégrité sémantique, puisqu'on ne peut les appliquer avec la même précision et le même sens à différents objets : peut-on dire, par exemple, que le concept de classe est aux Gastéropodes ce qu'il est aux Insectes ? Je ne le pense pas. Mais vous me contredirez si je me trompe. Nous pouvons affirmer, par contre, que le concept d'espèce est à l'homme ce qu'il est au chat ou à *Apis mellifica*, notre abeille domestique. Cela pour la simple raison qu'il se fonde, dans chaque cas, sur la notion d'interfécondité : deux êtres appartiennent à la même espèce s'ils sont interféconds ; deux espèces se distinguent par l'impossibilité de se reproduire entre elles. Il reste, bien entendu, que l'usage du concept d'espèce obéit à certaines conditions standards d'application dont, en particulier, les conditions de proximité géographique et éthologique qui prévalent au rapprochement naturel des sexes.

Le rappel de ces considérations générales, sur lesquelles vous pourrez revenir à loisir, va me permettre d'exposer ma première question qui sera plus particulièrement adressée aux naturalistes ici présents et, en premier lieu, à Pierre-Henri Gouyon. Tout semble aller pour le mieux, avec le concept d'espèce, du moment que

l'on ne sort pas du règne animal : en effet, même si, pour des raisons techniques, nous ne disposons pas toujours du moyen de contrôler l'interfécondité des spécimens que nous étudions, nous arrivons, dans l'ensemble, à une précision confortable dans nos déterminations. Pour le règne végétal, nous disposons dans une moindre mesure des moyens de contrôler l'interfécondité, mais surtout, nous avons affaire à des modes de reproduction variables, dont certains sont sexués et d'autres asexués ; ce qui n'est pas sans conséquence sur l'idée que nous pouvons nous faire du phénomène de spéciation chez les végétaux.

Notre première question est alors la suivante :

— Que vaut le concept d'espèce en botanique ; quelle précision nous apporte-t-il dans la connaissance de la variété des formes de vies végétales ?

Nous en profitons pour introduire deux sous-questions :

— Le concept d'espèce obéit-il, en botanique, à un autre régime de vérité que celui de l'interfécondité (je pense en particulier à un régime fondé sur la cohérence des descriptions phénotypiques)

— Enfin, les différences attestées entre régime de reproduction sexuée et régime de reproduction asexuée, depuis les procaryotes jusqu'à certains eucaryotes, ne nous obligent-elles pas à porter un autre regard sur la variété du vivant ? La spéciation ne peut-elle, en particulier, être vue comme un épiphénomène de l'évolution : une stratégie d'expansion du vivant qui serait apparue à un moment donné comme si elle avait été elle-même le produit de la sélection naturelle ?

Pierre-Henri Gouyon. Pour répondre à la question, je commencerai par une digression historique sur le concept d'espèce et son impact sur la biologie évolutive en général. Il faut être conscient que la biologie a subi divers avatars depuis l'antiquité et, en particulier au cours du XVIII^e siècle, quand les concepts, tels qu'ils sont actuellement employés, se sont fixés. On trouve au Moyen Âge des auteurs pouvant écrire des affirmations telles que : « Il existe un arbre dont les feuilles tombent sur le sol et deviennent de petits animaux, tandis que d'autres tombent dans l'eau et donnent des poissons. »

Autrement dit, n'importe quel organisme peut générer n'importe quel autre — le concept de métamorphose (au sens d'Ovide) était d'utilisation courante. Dans ce contexte, on ne pouvait pratiquer la biologie au sens où on l'entend aujourd'hui : il a d'abord fallu décider que les chiens ne sont pas des chats, c'est-à-dire que les organismes se reproduisent tels qu'en eux-mêmes à l'intérieur de catégories. Ce fut le début d'une classification fondée sur les concepts aristotéliens d'espèce, de genre, etc. Ensuite, il fut décidé que chaque espèce était fixe : les chiens feront éternellement des chiens, et les chats des chats — l'ensemble suivant l'ordre imposé par le créateur tout-puissant.

Voilà les bases sur lesquelles a pu démarrer une classification des êtres vivants. Nous sommes partis d'un fouillis à priori totalement inorganisé, dans lequel on a commencé à isoler des classes, des espèces, etc.

La biologie évolutive a subi de véritables mouvements de balancier, depuis une conception où chaque individu peut engendrer n'importe quel autre, à l'extrême inverse, où un individu ne peut engendrer qu'un autre de la même espèce. Tout phénomène temporel est alors impossible : l'ordre divin que suit la création est immuable et éternel. Mais, ceci posé, on a pu classer. Deux critères se sont toujours opposés en systématique (et ils continuent de le faire) : le critère de ressemblance et le critère de filiation.

Il semble à priori logique de mettre dans la même classe des individus qui se ressemblent. Cuvier définissait ainsi une espèce comme l'ensemble des individus qui se ressemblent plus entre eux qu'ils ne ressemblent à ceux d'autres espèces. Mais il est plusieurs cas où l'on ne peut appliquer ce type de démarche : par exemple, pour la métamorphose des chenilles en papillons, celle des têtards en grenouilles ; enfin, les mâles et les femelles de plusieurs espèces sont dissemblables à un point tel, qu'ils se trouveraient classés dans des groupes différentes. On a donc opposé à ce critère de ressemblance un critère de filiation : si un individu peut naître d'un autre, alors ils sont de la même espèce : une chenille naît d'un papillon, une femelle peut donner naissance à des mâles, etc.

Jusqu'à présent, la systématique a procédé presque exclusivement dans le sens d'un remplacement du critère de ressemblance par

celui de filiation. Actuellement, une forme extrême de la classification, la cladistique, ne reconnaît plus que le critère de filiation pour définir un être, à quelque niveau hiérarchique que ce soit de la systématique.

À la fin du XVIII^e siècle, les deux grands naturalistes français, Cuvier et Lamarck travaillaient tous deux au Museum d'histoire naturelle à Paris. Cuvier était ce que l'on appelle un « fixiste catastrophiste » : il pensait que toutes les espèces s'étaient éteintes plusieurs fois au cours de l'histoire de la vie, et que le créateur, dans son infinie bonté, avait chaque fois produit une nouvelle création, un peu mieux réussie que la précédente. Il pouvait effectivement le constater grâce à ses relevés de stratigraphie : les espèces différaient d'un niveau à l'autre des couches de sédiment.

Au même moment, Lamarck travaillait sur la classification des invertébrés et, comme tous les naturalistes de cette époque, il était obsédé par la découverte d'une classification naturelle : le point essentiel de sa démarche était de retrouver un ordre dans ce fouillis d'espèces. Comme plusieurs de ses contemporains, il commença sa classification naturelle en partant des êtres « les plus parfaits », *i.e.* ceux qui nous ressemblent le plus (à l'époque, l'espèce humaine ne faisait pas partie de la classification des êtres vivants en général) ; il regarda ensuite comment les plus « dégénérés » (les vers, les animaux sans vertèbres, etc.) pouvaient être reliés entre eux. La démarche était la suivante : vous prenez un animal « parfait », vous lui enlevez progressivement des morceaux, et vous obtenez un animal de plus en plus « imparfait » ; et ainsi de suite, vous retrouvez toutes les espèces. La grande idée de Lamarck fut de décider de ne pas classer les êtres vivants depuis les plus « parfaits » vers les plus « imparfaits », mais dans l'ordre inverse. Ce qui lui permit de découvrir un phénomène temporel : la transformation des espèces « imparfaites » en espèces de plus en plus « parfaites »¹.

1 . Parce qu'ainsi parlait Lamarck, nous avons préféré conserver les termes d'« imparfait » et de « parfait », plutôt que de les remplacer par leurs homologues modernes de « simple » et « complexe ». (n. d. l. r.)

Il est important de remarquer, tout d'abord, que le « transformisme » de Lamarck est actuellement une conception reconnue par à peu près tous les scientifiques ; ensuite, que celui-ci attribue la transformation des espèces à des causes qui ne sont plus du tout acceptables aujourd'hui ; enfin, que son schéma évolutif a également été abandonné. On a comparé sa théorie à un escalier mécanique : la création de la vie serait permanente et, dès qu'un être vivant est créé, il commence à évoluer — exactement comme montent les marches d'un escalier mécanique. À chaque instant, certaines marches sont plus hautes que les autres parce qu'elles sont apparues avant. Ainsi, les espèces les plus évoluées (les plus « parfaites », dans le langage de l'époque) sont celles qui sont apparues les premières, tandis que les espèces les plus simples sont apparues depuis peu. Dans la conception de Lamarck, il y a donc fabrication constante de nouvelles formes vivantes, les plus anciennes étant celles qui ont eu le plus de temps pour évoluer.

On pense aujourd'hui que toutes les formes de vie proviennent de la même origine — s'il y a eu différentes sources, elles se sont regroupées en un seul système. Et bien qu'il soit extrêmement difficile aux biologistes de rejeter l'idée que certaines espèces sont plus évoluées que d'autres, cette vision ordonnée de l'organisation du vivant est rejetée. Car, si l'on admet qu'il n'y a qu'une seule origine de la vie, alors toutes les espèces existent depuis aussi longtemps — non pas en tant qu'espèce mais en tant qu'issue d'un phylum. Y a-t-il donc des espèces plus évoluées que d'autres ? Actuellement, la réponse est non — mais peut-être est-ce un sujet à revoir.

Voilà donc comment, aujourd'hui, nous en sommes venus à définir l'espèce suivant le critère de filiation et non plus de ressemblance. De ce choix est issu le critère d'interfertilité défini par Mayr. Mais celui-ci est un critère, et il n'est plus question de dire que c'est le seul. D'abord, parce que son application rencontre des problèmes immédiats : deux femelles ou deux mâles de la même espèce ne pouvant se reproduire ensemble, nous sommes obligés de passer par l'intermédiaire de leurs enfants ou leurs parents — le critère d'interfertilité est donc soumis à celui de filiation.

AGONE. Ne fait-il pas partie du critère d'interfertilité qu'il soit soumis à certaines conditions d'application ?

Pierre-Henri Gouyon. C'est plus compliqué. Si deux formes de vie ne peuvent pas se croiser parce qu'elles n'habitent pas le même territoire, alors qu'elles pourraient le faire si on les rassemblait, la question de savoir si l'on doit en faire une seule espèce n'est pas de mon ressort, elle est de celui du systématicien. Si, parce qu'elles vivent dans des endroits différents, deux populations ne se croisent plus depuis très longtemps et que, de fait, elles ont pu accumuler des différences, alors il est légitime de les considérer comme des espèces différentes ; même s'il est possible d'obtenir artificiellement des descendants fertiles.

En outre, le critère d'interfertilité n'est pas le seul critère applicable. Pour commencer, ce n'est pas celui appliqué par les systématiciens, qui ne peuvent se permettre de réaliser cet énorme travail de croisement chaque fois qu'ils veulent décrire une nouvelle espèce ; il n'est vraiment pas possible de croiser chaque nouvelle espèce avec toutes celles déjà existantes.

AGONE. Effectivement, ce n'est pas possible. Mais les biologistes spécialisés dans le règne animal peuvent s'attendre à ce que ce critère s'applique, même s'ils ne le testent pas de façon systématique. Le mode de reproduction sexué, qui vaut à quelques exceptions près pour tout le règne animal, fonde la généralisation du principe d'interfécondité. Dans le règne végétal, le fait que certaines formes de reproduction se passent du rapprochement des sexes, n'introduit-il pas d'autres logiques de variations que celle donnant lieu à la formation d'espèces ?

Pierre-Henri Gouyon. Je ne le crois pas. En outre, il ne faut pas confondre animaux et mammifères : on trouve de la reproduction asexuée dans presque tous les groupes d'animaux (poissons, reptiles, batraciens, insectes). Dans tous ces groupes-là, le concept d'espèce ne peut plus effectivement être lié à l'interfertilité. Dans une espèce parthénogénétique, c'est-à-dire où les femelles engendrent des filles sans avoir recours à l'intervention de mâles, ou du moins

sans en intégrer les gènes dans leurs descendance, on ne peut plus utiliser un tel critère. Et de tels cas existent aussi bien chez les animaux que chez les végétaux.

Il est vrai qu'une divergence évolutive entre deux groupes d'individus aboutit généralement à ce que leurs génomes ne deviennent plus assez compatibles pour qu'une rencontre, même forcée, puisse produire des descendants viables, et que les mécanismes de cette divergence sont apparemment plus sensibles chez les animaux que chez les végétaux. En effet, si l'on réunit les génomes de végétaux éloignés, on réussit souvent à produire un descendant ; ils parviennent à se combiner pour composer une nouvelle forme. Tandis que chez les animaux, les génomes deviennent beaucoup plus facilement incompatibles et rapidement incapables de s'agencer pour que se développe un être viable. Mais, à cette restriction près, l'espèce, qui recouvre l'idée de groupes vivants évoluant indépendamment, est valable chez les végétaux et les animaux.

AGONE. Si la notion d'espèce doit être soumise à certaines révisions, la spéciation est-elle un concept beaucoup plus intéressant pour le biologiste ?

Pierre-Henri Gouyon. Un des ouvrages qui a le plus influencé la biologie évolutive est bien sûr *De l'origine des espèces*, que Darwin a publié en 1859. Et celui-ci se garde bien de définir le concept d'« espèce » tout au long de son ouvrage. Ce qui veut bien dire que l'on peut mener des travaux majeurs en biologie évolutive sans se préoccuper de savoir ce qu'est une espèce. Pour Darwin, le problème était de trouver l'origine de la variation et de l'adaptation ; la question de savoir à quel moment on va devoir appeler tel groupe une espèce ne le passionnait manifestement pas.

Philippe Vernier. En outre, Darwin se préoccupe également très peu, dans son ouvrage, de l'origine du vivant.

Pierre-Henri Gouyon. S'il est juste que Darwin a relativement ignoré cette question, il a par contre formulé cette hypothèse remarquable : si une nouvelle forme de vie était apparue après la

première — celle que nous connaissons — elle aurait été immédiatement dévorée par les êtres qui existaient déjà. Ce qui peut expliquer l'unicité de l'origine de la vie.

Il y a vingt ans, la spéciation était quelque chose de simple : quatre ou cinq grands processus avaient été identifiés, avec lesquels on pouvait tout décrire. La spéciation est à l'heure actuelle un domaine de recherche extrêmement actif, et, en dix ans, le nombre de processus de spéciation mis à jour a considérablement augmenté. Plusieurs mécanismes permettent de comprendre comment une espèce s'individualise à partir d'une espèce ancestrale.

On a remarqué, chez les animaux supérieurs (on les appelle toujours ainsi), que la stérilité des hybrides provient toujours d'une incompatibilité entre chromosomes sexuels. Cela signifie très certainement que le niveau de la structure moléculaire de ces chromosomes rend incompatibles des groupes qui se sont séparés depuis suffisamment longtemps. On dispose de mécanismes qui peuvent expliquer ce type de phénomènes. Ils sont un peu compliqués, mais intéressants parce qu'ils mettent en jeu des forces évolutives non classiques : par exemple, une situation où les chromosomes se battent directement entre eux.

Ainsi, les processus de spéciation sont un domaine d'étude plus passionnant que la recherche d'un critère réel de la notion d'espèce.

(Une remarque : en conclusion de son ouvrage, *La Philosophie zoologique*, Lamarck développe l'idée que, si l'on ne savait pas que l'homme a été créé indépendamment des autres animaux, il serait très facile de le faire figurer dans la théorie transformiste qu'il propose ; et il développe sur deux pages comment on pourrait passer du singe à l'homme. C'est ensuite Darwin qui, dans son ouvrage *La Descendance de l'homme et la sélection sexuelle*, développera entièrement l'idée que l'homme est lui aussi issu du processus d'évolution des espèces.)

Philippe Vernier. Dans les années cinquante à soixante, on a considéré que la spéciation portait sur des populations d'individus tous différents les uns des autres et non pas sur « l'espèce » en tant que telle, qui est d'abord un concept opérationnel. Ce qui a

poussé certains chercheurs à le renier complètement, et généré ainsi d'importants courants nominalistes qui ont des prolongements aujourd'hui en génétique humaine. Il n'en reste pas moins vrai que les individus appartiennent à un groupe (un « taxon terminal ») qui continue d'évoluer, et que l'on peut qualifier précisément d'espèce.

Pierre-Henri Gouyon. Je pense que l'on peut trouver tous les cas de figure. Depuis les années trente, une population est définie comme un ensemble d'individus qui se reproduisent réellement ensemble et qui engendrent globalement des descendants. On peut penser a priori que ce concept est moins abstrait que celui d'espèce, mais ce n'est pas évident. Ainsi, quand on travaille sur de véritables populations, il n'est pas facile d'en trouver les limites. Par exemple, pour l'espèce humaine, comment isoleriez-vous une population ? (Cela est vrai pour n'importe quelle espèce.)

Il est très probable que les espèces se fabriquent par divergence de populations. Il existe des cas simples ; par exemple, les glaciations ont dû complètement isoler des populations d'oiseaux dans différentes zones refuges (sans glaciers). Les populations pouvaient alors diverger suffisamment pour que, la période glaciaire finie, elles ne puissent plus se croiser. Ce principe, proposé par Mayr, a certainement une grande généralité, mais il y a de nombreux autres cas de spéciation pour lesquels nous n'avons pas encore d'explication satisfaisante ; par exemple, quand une différence chromosomique majeure empêche deux espèces de se croiser, on peut se demander comment le premier individu né avec des chromosomes différents a pu se reproduire. Ensuite, il faut imaginer que les descendants de l'individu porteur de la mutation se sont croisés entre eux ; toute l'espèce nouvelle serait donc issue d'une seule famille — c'est le mythe d'Adam et Ève. Dès l'origine de l'espèce, nous avons donc des difficultés pour différencier le niveau de la population de celui de l'individu — et je ne pense pas que l'on puisse actuellement résoudre ce problème.

Jacques Ninlo. Pour vous amener à préciser cette question, je prendrai le problème à rebours : à quoi peut-on attribuer l'unicité

de l'espèce humaine ? Malgré les isolements géographiques, comment se fait-il que nous couvrions toute la planète et soyons interféconds ? (Cette question valant aussi pour les animaux domestiques.) Pour la plupart des espèces, dès lors qu'elles vivent sur deux continents différents, il y a isolement génétique.

Pierre-Henri Gouyon. L'espèce humaine est tout de même jeune, et si les populations étaient restées plus longtemps isolées sur chaque continent, cela aurait finalement débouché sur des interstérilités. En outre, dans le cas d'un nouveau mélange des populations, les individus interstériles n'ayant pas de descendance, une interfécondité apparaîtrait, qui serait celle de la nouvelle population. Par exemple, on trouve des mulets fertiles, mais les éleveurs sont attentifs à ne pas les laisser se reproduire. On pourrait mélanger à nouveau l'âne et le cheval : il suffirait pour cela de faire se reproduire les quelques mulets fertiles.

Pierre-Yves Quenette. Défini de façon opérationnelle à partir du critère d'interfécondité, le concept d'espèce est privé de sa dimension temporelle et n'est utilisé par les biologistes (généticiens, écologistes, éthologistes, etc.) que pour distinguer à l'instant présent des types d'individus. Par contre, pour un paléontologiste, l'espèce, en tant qu'entité évolutive homogène d'un point de vue morphologique, a forcément une épaisseur temporelle. Elle est alors considérée de façon dynamique comme un phénomène historique résultant de l'enchaînement des générations de son origine à sa distinction, alors que l'espèce biologique correspond à un « instantané » au sein de l'évolution d'une lignée. La nécessité d'introduire le temps dans la définition de l'espèce se manifeste peut-être le plus clairement dans les cas de divergence entre sous-espèces, véritables cassette-tête pour les systématiciens. Un exemple classique est celui du pouillot, dont cinq types jointifs se répartissent en anneau autour de la chaîne de l'Himalaya : tandis que les cinq sous-espèces sont interfécondes deux à deux sur les aires conjointes, aux extrémités de la chaîne, les deux « sous-espèces » qui se rencontrent ne s'hybrident pas.

Pierre-Henri Gouyon. Je voudrais revenir sur la question de la filiation. Si l'on regarde l'ensemble de ses ancêtres, la filiation d'un individu est quelque chose d'assez compliqué : deux parents, quatre grands-parents, seize arrière-grands-parents — ce qui fait, en quelques générations, beaucoup de monde. (C'est pourquoi on essaye le plus souvent de travailler sur des cas où un parent donne un seul descendant.)

Sur un arbre phylogénétique, les traits représentent simplement les espèces. On dit qu'il manque une dimension temporelle à la définition de l'espèce, mais on oublie aussi de dire qu'à chaque instant, tous les individus d'une population ne sont pas également proches du type moyen (certains pouvant être plus proches d'une autre espèce). On peut actuellement suivre avec précision la filiation de l'information génétique et connaître le temps depuis lequel deux individus se sont différenciés en analysant la distribution d'une portion de génome dans le *pool* génique d'une population. Toutefois, chez un même individu, deux portions du génome n'ont pas forcément une origine unique. Donc, la filiation établie sur différentes portions du génome n'est pas nécessairement la même selon la portion du génome considéré.

On peut postuler à juste titre la présence d'un génome originel sur une portion de chaque génome humain. Il y aurait donc eu une personne qui a porté le génome présent dans toute l'espèce humaine à l'heure actuelle. Le génome mitochondrial est transmis de mère en fille — on a parlé d'une « Ève mitochondriale ». De même, le chromosome Y est uniquement transmis de père en fils. Il est certain que si l'Ève mitochondriale et l'Adam du chromosome Y ont existé, ils n'étaient pas voisins et il est inconcevable qu'ils se soient jamais rencontrés. Ce qui pose un réel problème parce que l'on aimerait pouvoir représenter les espèces comme des traits sans épaisseur.

Jacques Ninto. Le problème peut être formulé autrement. Ainsi, pour un gène quelconque, chaque individu possède un chromosome maternel et un chromosome paternel. En remontant de deux générations seulement, demandez-vous de qui vous tenez, par exemple, votre chromosome 18 : de votre grand-père paternel ou maternel,

de votre grand-mère paternelle ou maternelle ? Si l'on remonte sur un chromosome, on aboutit à un ancêtre, mais si l'on suit un autre, on n'aboutit pas nécessairement au même .

Jacques Senez. Je ne crois pas qu'il soit possible de formuler ainsi le problème, le simple fait des recombinaisons génétiques rend très improbable que des chromosomes se soient reproduits tels quels tout au long d'une filiation.

Jacques Ninio. C'est exact. J'aurais dû dire « gène » au lieu de « chromosome ».

Bernard Brun. Je voudrais intervenir sur l'aspect suivant. L'espèce semble correspondre, quand elle est assez bien définie, à une unité écologique qui se traduit par une importante compétition entre deux espèces proches. Cet aspect de compétition écologique agit sur la répartition et l'évolution des populations, et contribue ainsi de manière importante à donner consistance au concept d'espèce. Toutefois, je me demande si l'on ne surestime pas l'importance de la question de l'espèce en référence au problème de l'unité de l'homme. L'importance particulière que l'on attache à définir l'espèce, comme si elle était le maillon principal de la classification, tient peut-être à cet arrière-plan idéologique.

Pierre-Henri Gouyon. Le concept d'espèce est tout à fait opérationnel s'il décrit un ensemble d'informations génétiques qui n'évoluent pas indépendamment, se recombinant par divers mécanismes inter- ou intra-chromosomiques. La question importante étant celle de la divergence évolutive. Si les espèces ne s'étaient pas multipliées, si les processus de spéciation n'agissaient pas ; bref, si les éléphants pouvaient se croiser avec les fraises des bois, il n'y aurait jamais eu ni éléphant, ni fraise des bois, et leur descendance n'aurait jamais colonisé l'ensemble des milieux écologiques. L'individualisation de l'évolution de chaque groupe permet seule une séparation des niches écologiques et la distribution des espèces sur l'ensemble de la surface de la terre. Le concept d'espèce est donc utile, mais je ne suis pas sûr qu'il soit nécessaire de le préciser bien davantage.

Jean-François Gérard. L'interstérilité représente une barrière majeure, mais cela n'exclut pas des transferts « horizontaux » de gènes entre espèces très différentes. Je pense par exemple à la ressemblance entre les hémoglobines des vertébrés et la *leg*-hémoglobine des nodules de racine de légumineuses ; ces nodules ont la particularité de fixer l'azote atmosphérique grâce à des bactéries symbiotiques ; mais, ces dernières étant anaérobies, elles ne peuvent se développer dans les nodules si la *leg*-hémoglobine ne fixait pas préalablement l'oxygène de l'air. On admet généralement une origine virale aux transferts « horizontaux » de gènes.

Pierre-Henri Gouyon. On n'en connaît pas l'origine. Et si ces passages étaient vraiment importants, le système ne pourrait plus fonctionner.

Un dernier point que je voudrais aborder au sujet de la spéciation : il ne suffit pas que deux espèces soient génétiquement isolées pour qu'elles survivent. Quand deux espèces sont très proches, elles entrent en compétition, et le plus souvent une seule survit. La fixation à long terme de deux espèces nécessite donc qu'elles se différencient suffisamment pour occuper chacune une niche et s'y maintenir. Le processus de spéciation n'est pas seulement un processus d'isolement génétique, mais aussi un processus de divergence écologique des espèces. La biologie contemporaine étant dominée par la biologie moléculaire qui se limite aux processus de spéciation, on oublie facilement les facteurs de divergence écologique.

Michel Schmitt. Peut-on estimer le temps nécessaire à la formation de deux espèces à partir d'une population d'origine ? Je pense par exemple au cas des goélands évoqué précédemment.

Pierre-Yves Quenette. Je ne crois pas que l'on dispose de chiffres concernant la formation de ces différentes sous-espèces distribuées en anneaux.

Jean-François Gérard. Tout dépend des modes de spéciations. Par exemple, les divergences entre populations parapatriques, séparées géographiquement, peuvent prendre un temps considérable.

Pierre-Henri Gouyon. Dans le cas des goélands, si le contact entre sous-espèces est rompu à un point de l'anneau, deux espèces pourraient assez rapidement se fixer, non seulement parce qu'elles se trouvent isolées, mais également parce qu'elles divergent.

D'autre part, pour mesurer le temps de la spéciation, il faudrait disposer d'un critère. Pour qu'il y ait spéciation, il faut un isolement des espèces et une divergence suffisante pour que celles-ci puissent coexister sans s'éliminer l'une l'autre — ce temps peut être très long. Mais si vous voulez une espèce nouvelle, on vous en fabrique une demain, du moment que vous n'exigez pas qu'elle ait divergé écologiquement de l'espèce d'où elle est issue. Il naît souvent des individus qui ne peuvent plus se croiser avec leurs congénères, mais leurs génomes sont vite éliminés.

Jean-François Gérard. Deux groupes de cervidés, les télémétacarpies et les plésiométacarpies, illustrent bien la complexité des relations entre spéciation et divergence. Chez les télémétacarpies, les différentes formes observées sont manifestement des espèces différentes ; ainsi, on connaît en Sibérie une forme assez grande du chevreuil (un télémétacarpie), qui s'avère être, d'après le critère d'inter-stérilité, une espèce distincte de la forme occidentale. Chez les plésiométacarpies, au contraire, on trouve à l'intérieur de chaque espèce des variations morphologiques énormes ; par exemple, le cerf rouge, très petit en Écosse, grandit jusqu'à devenir gigantesque en allant vers l'est de l'Eurasie, tout en restant une seule et même espèce. Selon les groupes phylogénétiques, on a donc l'impression que la différenciation accompagne la spéciation, alors que dans d'autres cas l'interfécondité reste la règle. C'est en partie ce qui fait dire à Stephen Jay Gould et Niles Eldredge que l'évolution ne réside pas uniquement dans l'action de la sélection naturelle mais aussi dans des caractéristiques, comme le taux de spéciation, propres aux groupes phylétiques.

Philippe Vernier. Dans un autre cas classique, celui de l'espèce humaine, nous savons que depuis un siècle environ, la taille a augmenté. Mais il ne s'agit pas pour autant d'une nouvelle espèce humaine. En systématique phylogénétique, cela s'appelle l'anagenèse

(phénomène de variation au sein de l'espèce), qui s'oppose au processus de spéciation de type cladogénèse.

Jacques Senez. Nous ne savons pas si cette variation est d'origine génétique.

Bernard Brun. Pour l'espèce humaine, on peut pratiquement exclure l'hypothèse génétique, qui n'entre que pour une faible part dans l'augmentation des tailles.

Jacques Senez. On a tendance à oublier que les problèmes de spéciation se posent chez les procaryotes en termes quelque peu différents de ceux qui ont été exposés ici.

Pierre-Henri Gouyon. Il est exact que chez les bactéries l'application du concept d'espèce est plus compliquée. La reproduction sexuée permet l'application de critères simples qui font défaut dans la reconnaissance des espèces chez les micro-organismes. Toutefois, on leur connaît des processus d'isolement, dont certains ont été décrits à grand bruit récemment. Certains groupes de micro-organismes se reproduisant indépendamment les uns des autres, on peut leur donner le statut d'espèce, mais ils sont sans aucun doute moins stables dans le temps que leurs homologues chez les mammifères — il est en effet toujours possible de fabriquer de nouvelles espèces à partir de la fusion d'espèces fortement différenciées.

Jacques Senez. Chez les procaryotes, la pression de sélection joue beaucoup plus que chez les eucaryotes — ce qui constitue entre ces groupes une différence importante. L'application de la notion d'espèce pose effectivement des problèmes chez les bactéries. Pourtant, parmi les organismes présents dans les tubes digestifs des animaux, on trouve toujours des colibacilles ; et ceux-ci, à l'égal des autres bactéries, ont un taux de mutation très important. Le fait que le colibacille se maintienne s'explique par la spécificité de ce milieu particulier et de la pression de sélection qui s'y exerce. Les problèmes de spéciation se sont donc posés dès l'apparition de la vie, c'est-à-dire dès le début de la phylogénèse.

D'autre part, les critères fondamentaux de la vie sont identiques chez les trois grands groupes, eucaryotes, zoo- et archéobactéries : de l'ADN, de l'ARN et vingt et un acides aminés. Ce qui nous renvoie à l'apophtegme de Jacques Monod : « Tout ce qui est vrai pour le colibacille est vrai pour l'éléphant. »

Les relations entre biologie moléculaire et naturalisme

AGONE. La comparaison des homologies entre séquences de gènes d'une même famille a permis de dresser des arbres phylogénétiques de l'évolution des espèces. Ces arbres eurent leur heure de gloire à reproduire et préciser les arbres naturalistes datés de plusieurs siècles. Mais ne peut-on pas se demander jusqu'où ces convergences, pour ne pas être fortuites, ne procèdent pas de logiques divergentes ? Ensuite, cette phylogénèse de l'évolution des molécules ne fournit-elle pas ses propres hypothèses sur l'origine de la diversité des formes vivantes et sur les raisons d'être de cette diversité, comme sur la définition même des parentés phylogéniques ?

Philippe Vernier, vous qui employez ces méthodologies dans vos recherches, pouvez-vous nous en parler ?

Phillipe Vernier. En fait je me préoccupe surtout d'appliquer les méthodes de la phylogénèse, non pas à l'étude de l'évolution des espèces, mais à des classifications moléculaires. Sur ce sujet, nous nous trouvons dans la même situation que les botanistes et les zoologistes du xviii^e siècle. Nous sommes face à un grand nombre d'espèces moléculaires, et nous nous interrogeons sur la genèse de cette diversité et sa signification.

Cependant, les classifications moléculaires se fondent d'abord sur une analyse des similitudes entre molécules, indépendamment des filiations qui gouvernent les classification naturalistes. La phylogénèse moléculaire s'applique donc en premier lieu à des

séquences, c'est-à-dire à des chaînes linéaires de caractères (acides nucléiques ou acides aminés) qui déterminent les structures des protéines correspondantes. Rappelons ici que « structure » est un terme d'origine architecturale introduit au xviii^e siècle pour désigner un composant dont la forme particulière est associée à une fonction précise (les piliers d'une église par exemple). Kimura, le père de la théorie neutraliste de l'évolution, a formulé le principe selon lequel les régions conservées dans les séquences de protéines ont en général une grande importance fonctionnelle; ce qui nous permet de confronter les classifications purement descriptives à des classifications physiologiques, par exemple. Cette analyse classificatrice conduit ensuite à se demander comment les différents membres de ces familles de gènes sont apparus au cours de l'évolution. Vous avez employé dans votre question le mot « convergence ». Dans la terminologie phylogénétique, ce mot a un sens particulier, qui est celui d'une similitude entre des structures qui n'ont justement pas une même origine. Ce sont des similitudes apparentes, telles que l'aile des chauve-souris et des oiseaux, qui sont apparues indépendamment au cours de l'évolution.

Dans le système immunitaire comme dans le système nerveux, on observe souvent une grande variété de séquences pour les membres d'une même famille de gènes qui se ressemblent cependant beaucoup. C'est l'observation des variations sur un thème commun qui a d'ailleurs conduit à l'idée de l'évolution. Lorsqu'on ne dispose pas de corrélat biochimique, on ne sait pas toujours interpréter correctement ces diversifications considérables de molécules. Par exemple, on trouve pour les récepteurs de certains neurotransmetteurs un grand nombre de sous-types moléculaires, alors que la diversité révélée par la pharmacologie est moindre. La classification phylogénétique rend compte de cette diversité en ordonnant les espèces moléculaires de manière intelligible : les différentes familles sont liées par des relations de parenté, inhérentes au processus évolutif. Elle permet également d'expliquer les différentes fonctions qu'un même type de molécule peut remplir chez des espèces différentes — ce qui a longtemps perturbé pharmacologistes et biochimistes.

Les mécanismes à l'origine de la diversification génique sont extrêmement nombreux. En plus de la survenue de mutations ponctuelles

plus ou moins nombreuses, on sait que le génome a une forte propension à se dupliquer. À chaque méiose, des phénomènes de recombinaison illégitime et des *crossing-over* inégaux dédoublent des portions de génome de taille variable — depuis quelques nucléotides jusqu'à des morceaux entiers de chromosomes — qui peuvent se maintenir dans la descendance. Il est donc relativement compliqué de reconstruire des phylogénèses ; il faut disposer d'un grand nombre d'espèces moléculaires appartenant à un maximum d'organismes vivants pour décider quels sont les mécanismes à l'œuvre dans la genèse de cette diversification génique. Il est par exemple difficile de déterminer l'origine de la présence commune d'un morceau de chromosome chez deux espèces éloignées. Les phylogénèses sont d'abord des hypothèses sur les relations de parenté entre les espèces, et non pas de vrais arbres généalogiques. En effet, dans un arbre généalogique, les relations ancêtres-descendants ainsi que l'ensemble de la filiation sont connus. Dans un arbre phylogénétique, et tout particulièrement s'il s'agit de molécules, on suppose que deux espèces ayant une structure apparentée descendent d'un même ancêtre sans qu'on le connaisse pour autant, du moins en général. De plus, on dispose rarement de l'ensemble des membres de la famille, ce qui rend parfois très difficile l'élucidation des relations phylogénétiques entre certaines molécules.

En effet, deux cas de divergence structuro-fonctionnelle peuvent être observés pour une même famille de molécules : le cas des gènes paralogues (diversification à l'intérieur d'une même espèce d'organisme) et celui des gènes orthologues (diversification associée à celle de deux espèces). S'il est difficile du point de vue biochimique de résoudre ce genre de problème, dans la mesure où deux gènes orthologues ont été maintenus dans les deux espèces apparues, la phylogénèse moléculaire en donne une classification instantanée — la spéciation a fourni des gènes homologues dans chacune des nouvelles espèces (gènes orthologues) ; en revanche, les gènes paralogues n'ont pu être générés qu'après un phénomène de spéciation, par un phénomène de duplication dans une espèce. Les relations ancêtres-descendants, appliquées aux familles de gènes, permettent ainsi de distinguer entre phénomène de spéciation et phénomène de duplication génique à l'origine d'une famille de gènes. En construisant

en parallèle les phylogénèses d'espèces et les phylogénèses moléculaires, on peut avoir une idée du moment où une duplication génique est survenue et a donné naissance aux deux membres de la famille de gènes. Enfin, corrélée aux données anatomiques, morphologiques et biochimiques cette méthode permet de formuler des hypothèses concernant les conséquences fonctionnelles de la diversité génique.

Jacques Ninlo. Sur l'exemple d'*Escherichia coli*, Jacques Senez a évoqué la notion peu orthodoxe de convergence adaptative. J'en donne une illustration. Dans notre intestin cohabitent plusieurs souches de la bactérie *Escherichia coli*. Si, après une purge complète, on réensemence l'intestin avec une seule souche, celle-ci engendre rapidement l'ensemble du dispositif bactérien initial. Autrement dit, le génome d'une bactérie gouverne, non seulement le fonctionnement de cette bactérie, mais aussi celui d'une série de variants naturels bien définis, chaque variant ramenant à tous les autres.

Ce phénomène est rendu possible par la taille des populations concernées et leur taux important de mutations. Un gramme de bactéries contient 10^{12} individus. Leur taux de mutation est de l'ordre de trois pour mille reproductions génomiques complètes. Si l'on met ce taux en rapport avec les cinq millions de nucléotides qui composent le génome bactérien, chaque cycle de reproduction produit, pour un gramme de bactéries, environ cinq cent exemplaires de chacun des variants ponctuels possibles du génome. Le monde des bactéries n'est pas celui de Kimura, mais un monde où le matériel génétique a pu être optimisé position par position.

Prenons en revanche un grand mammifère, dont l'espèce comporte environ cent mille individus. Avec un taux de mutations de un sur cent mille par gène et par génération, l'espèce a du mal à fournir les mutations nécessaires pour répondre aux défis de l'environnement. Mais par ailleurs, comme le génome contient environ dix ou cent mille gènes différents, la population produit environ dix ou cent mille variants de ces gènes à chaque cycle reproductif. Pour qu'une mutation, vraiment avantageuse, se fixe dans la population, il faut du temps. Par exemple, dans le cas très favorable où la fréquence du gène mutant double à chaque génération, il faut environ dix sept générations pour constituer une population de cent mille individus

portant le gène muté. Pendant ce temps, un nombre considérable d'autres mutations se seront manifestées, que la sélection n'aura pas eu le temps de trier, comme l'a bien montré Kimura.

Ces mutations-là permettent de construire des arbres phylogénétiques, mais ne sont pas porteuses de sens. À l'inverse d'une structure de protéine bactérienne qui a été affinée par l'évolution position par position, une structure de protéine humaine a pu beaucoup varier, mais sans nécessairement s'améliorer.

Phillippe Vernier. Le nombre de contraintes qui s'exercent sur les mutations diffère considérablement lorsque l'on passe de la bactérie aux grands mammifères. De plus, connaît-on le taux de mutation vrai de chaque génome ? Pour qu'une mutation soit visible, il faut qu'elle ait satisfait une série de contraintes : elle ne doit pas perturber la réplication du génome ; elle doit être compatible avec les mécanismes de régulation génique et les interactions avec les autres macromolécules — à chaque module d'interaction, de complexité croissante dans la construction d'un organisme, on rajoute des contraintes. Tout ceci rend compte du faible taux apparent de mutations. Mais l'est-il vraiment à l'origine, après la méiose ? La question reste ouverte.

Une équipe de recherche a récemment estimé le nombre de mutations délétères pour le génome de la drosophile, à une par zygote. Ce qui est finalement considérable. À cause de la recombinaison génétique liée à la reproduction sexuée par exemple, à l'hétérozygotie, peu d'entre elles s'expriment effectivement. Mais si l'on isole un gamète sur plusieurs cycles de reproductions, on s'aperçoit que ce taux de mutations est quand même très élevé. On peut alors imaginer que dans le cas de changements écologiques majeurs, certaines de ces mutations pourraient devenir adaptatives.

Jacques Senez. Il y aurait un moyen d'estimer facilement le taux de mutation délétère dans l'espèce humaine. Il suffirait pour cela de relever très soigneusement le nombre d'avortements spontanés chez la femme, puisque ceux-ci couvrent toutes les mutations létales qui ont pu survenir au cours de la reproduction.

Jacques Ninio. Les avortements spontanés sont de l'ordre de cinquante pour cent. Au niveau d'un gène particulier, disons qu'il a une chance sur cent mille de muter et que si c'est le cas, la mutation conduit, entre une fois sur dix et une fois sur deux, à rendre le gène inactif. Mais tout gène est présent dans l'œuf en deux versions, l'une fournie par le père, l'autre par la mère. La perte complète de fonction résulte en général de la conjonction de deux versions défectueuses. L'une est peut-être due à une mutation récente, mais je pense que le plus souvent, les deux versions défectueuses résultent de mutations anciennes, déjà portées par les parents à leur naissance.

Le taux de mutations est ajusté dans une fourchette étroite : un taux à peine plus élevé accroîtrait de manière significative les risques d'aberrations cellulaires comme le cancer ; un taux plus faible limiterait l'acquisition de mutations intéressantes.

Pierre-Henri Gouyon. Utile pour pousser les biologistes à chercher des phénomènes généraux, l'idée que ce qui est vrai pour la bactérie est vrai pour l'éléphant se montre maintenant fausse. Il faut retourner aux cas particuliers.

D'autre part, quand on n'observe aucun effet à la suite de l'inactivation de gènes sur des levures élevées en laboratoire, on doit en déduire que celles-ci ont beaucoup moins de problèmes à résoudre en laboratoire qu'en milieu naturel. Nous n'avons peut-être pas accès, dans ces conditions, à la fonction de nombreux gènes. Ce qui suggère d'ailleurs la nécessité d'un rapprochement entre biologie moléculaire et écologie.

Bernard Jacques. Je souhaiterais faire remarquer que l'on observe chez les métazoaires un phénomène de redondance génique. Alors que chez les bactéries, il n'existe schématiquement qu'un seul gène par fonction, il semble que chez les vertébrés, plusieurs gènes puissent jouer le même rôle ou des rôles très proches. Il en résulte que l'effet des mutations délétères sera différent selon qu'un seul gène, ou au contraire plusieurs, assure la fonction. Ce qui pourrait être une explication à l'absence d'effet de l'inactivation de certains gènes chez la levure.

Pierre-Henri Gouyon. Il est très peu probable que deux gènes strictement identiques puissent se maintenir dans une espèce : le génome étant soumis à un flux constant de mutations, si un gène ne subit aucune pression de sélection, il sera éliminé à plus ou moins court terme.

Philippe Vernier. Il faut en effet bien s'entendre lorsque l'on parle de redondance. Les redondances géniques apparentes sont en général partielles. Au cours de l'embryogenèse par exemple, certains gènes homéotiques peuvent en partie assurer la fonction de gènes inactivés. Mais la substitution n'est que partielle et permet que le développement de l'organisme se déroule sans anomalie majeure — il s'agit là de phénomènes courant qui assurent la sécurité de mécanismes aussi cruciaux que ceux du développement. Cependant, lorsqu'une cellule a besoin de produire une protéine en quantité importante, plusieurs gènes quasiment identiques peuvent effectivement s'exprimer ; c'est le cas, par exemple, de la tubuline, protéine majeure du cytosquelette — mais alors, ce maintien d'une multiplicité génique subit une réelle pression de sélection. Dans le cas contraire, des mutations vont transformer le gène dupliqué en un pseudo-gène dont la séquence dérive très rapidement au cours des générations. (Cette divergence de séquence est d'ailleurs utilisée pour estimer le taux de mutation auquel est soumis le génome d'une espèce donnée.)

Enfin, l'expression d'un génome dupliqué peut être maintenue grâce à un autre type de pression de sélection : si le gène « redondant » acquiert la capacité à s'exprimer dans une nouvelle catégorie de cellule (nouvelle contrainte spatiale) ou dans une circonstance de la vie de l'organisme où il ne s'exprimait pas auparavant (nouvelle contrainte temporelle). C'est exactement le cas des gènes paralogues dont nous parlions précédemment.

Avant l'origine des espèces, l'origine de la vie

AGONE. Une question maintenant plus particulièrement adressée à Jacques Ninio, qui a étudié et publié sur de tels sujets : beaucoup ont reproché à Darwin le titre de son ouvrage majeur : *De l'origine des espèces...* qui ne traitait pas de la question de l'origine, n'abordant en fait que celle de l'évolution des formes. Plus précisément, ce serait la question de l'origine de la vie qui échapperait à la théorie biologique darwinienne.

Jacques Ninio, vous avez vous-même mis en doute la possibilité de raisonner sur des molécules prébiotiques comme on raisonne sur l'ADN, c'est-à-dire qu'une théorie fondée sur un schème mutation-sélection puisse expliquer le passage à un matériau génétique assurant la transmission des caractères. Autrement dit, l'origine de la vie peut-elle être pensée dans le cadre de la théorie darwinienne de l'évolution ? ou bien (et il n'y a là rien de métaphysique, mais seulement de la méthodologie), cet « avant la vie » est-il un « hors la vie », donc étranger à la théorie biologique ?

Jacques Ninio. Je ne crois pas que l'on puisse faire de reproche à Darwin, lequel s'est bien posé la question de l'origine de la vie, mais ne disposait pas des moyens nécessaires pour l'aborder. Je m'oppose par contre à ceux qui réduisent le problème de l'origine de la vie à l'apparition de molécules comme l'ADN, sensées être capables de se reproduire toutes seules et auxquelles il suffirait de transposer le schéma darwinien. Par exemple, on lit souvent que dans l'océan primitif de nombreuses molécules organiques se formaient spontanément et que parmi celles-ci, se trouvaient des molécules d'ARN capables d'exercer des actes catalytiques. Certaines de ces molécules auraient été capables de promouvoir leur propre répliation, et se seraient multipliées de manière exponentielle, en engendrant des variants, du fait des erreurs de reproduction. Parmi les molécules auto-répliatives, celles qui étaient capables de se reproduire plus rapidement que les autres, ou de se protéger au

moyen d'une membrane, ou de gérer leur environnement au moyen d'un code génétique auraient été favorisées par la sélection naturelle, et elles seraient à l'origine des cellules actuelles.

Ce scénario masque les difficultés. Le problème qui se pose à nous est de savoir déjà ce que peuvent faire concrètement des molécules organiques, ou des assemblées de molécules organiques — non produites par des cellules vivantes — en matière de catalyse, de réplication, voire de codage.

J'ai travaillé pendant un an et demi au Salk Institute, dans le laboratoire de Leslie Orgel, qui mène depuis vingt ans des recherches sur le thème de la réplication prébiotique. Il s'agissait d'obtenir, à partir d'une molécule d'ARN, deux molécules d'ARN semblables, et cela sans les enzymes qu'une cellule utilise à cette fin. Au début, le seul fait de former, à partir d'une chaîne d'ARN, un bout de chaîne complémentaire avait valeur d'exploit. Récemment, Orgel et ses collaborateurs ont réussi à faire plus : séparer la chaîne initiale et son complément, puis compléter chacune des deux chaînes. Ainsi a été accompli un cycle complet de réplication, mais avec de petites molécules, de dix à quinze nucléotides de long, ayant des séquences très particulières, et moyennant un savoir-faire chimique considérable.

Certains cherchent à construire des polymères chimiquement plus simples que les ARN, mais capables d'auto-réplication. D'autres, comme Cairns-Smith vont plus loin et envisagent des formes de réplication dans le monde minéral. Imaginons une structure argileuse, en feuillets. Supposons qu'il y ait en fait plusieurs types de feuillets dans une structure, et que ceux-ci se développent latéralement en conservant leurs traits propres. Si l'on clive transversalement un tel matériau, on aura deux morceaux capables de croître en conservant le même ordre de succession des feuillets. Voici un exemple de ce qu'aurait pu être une réplication prébiotique.

Mais l'existence éventuelle d'une forme primitive de réplication ne garantit pas que l'on puisse lui appliquer le raisonnement darwinien. D'abord, une réplication primitive était nécessairement très approximative, les structures devaient changer à chaque génération. On ne sait pas raisonner dans ce cas. Par ailleurs, si l'on pense à des cellules primitives, elles pouvaient croître, puis se désagréger,

libérant des matériaux qui se seraient ensuite associés pour former d'autres cellules. Le raisonnement darwinien n'a pas prise sur ce genre de situation qui est pourtant observé de nos jours, dans des cultures de bactéries carencées en nourriture.

Pierre-Henri Gouyon. Je crois que l'on ne peut effectivement pas séparer à l'heure actuelle le moment où s'arrête la chimie de celui où commence la biologie. Et il faut cesser de penser les conditions initiales de la vie par analogie avec les conditions actuelles.

Ainsi, l'apparition brutale du sexe est un lieu commun des conceptions de l'origine de la reproduction : après des générations de clonage, les organismes auraient eu l'idée intelligente d'inventer le sexe, source de variabilité. Nous pensons au contraire aujourd'hui que des mécanismes de type reproduction sexuée ont dû exister dès l'origine de la vie.

Chez les bactéries, on connaît plusieurs mécanismes d'échanges génétiques. Parmi ceux-ci, la conjugaison, qui fait intervenir des petits plasmides, brins d'ADN qui se reproduisent dans la bactérie et induisent chez elles un comportement de transmission du plasmide vers un voisin. On a là une sexualité liée au parasitisme. Les premiers échanges génétiques ont pu être d'abord des échanges infectieux, chaque élément du génome jouant un jeu évolutif propre, les cellules protégeant d'abord leur intégrité. Toutefois, ce mode d'infection a pu aussi représenter pour des bactéries au génome endommagé un moyen de réparation, l'ADN étranger pouvant offrir le moyen de synthétiser à nouveau certaines protéines.

Actuellement, les schémas d'évolution du sexe présentent les mâles comme étant, à l'origine, les parasites des femelles. Dans un tel système, l'individu qui sait le mieux utiliser les autres pour se reproduire possède un avantage sélectif. La sexualité est donc sans doute issue d'un équilibre entre protection de l'intégrité et réparation du génome.

Pierre-Yves Quenette. Comment expliquer alors que la parthénogenèse se soit maintenue, et que la sexualité ne l'ait pas emporté ?

Pierre-Henri Gouyon. En fait, dans presque tous les cas de parthénogenèse connus, ce sont manifestement des espèces sexuées qui ont perdu le sexe. Par exemple, les *Pæciliopsis monacha* sont des poissons à reproduction asexuée, mais les femelles ont besoin du sperme d'un mâle pour induire le développement de l'œuf. À l'issue de ce développement, les chromosomes du mâle sont rejetés, ainsi ne naissent que des femelles. Dans un tel système, les mâles n'ont pu que disparaître, aussi, les femelles se servent des mâles d'une espèce proche. Chez les lézards de l'espèce *Cnemidophorus uniparens* — composée uniquement de femelles parthénogénétiques — l'induction de l'ovulation nécessitant une excitation sexuelle ou hormonale, celles-ci réalisent entre elles des parades sexuelles. Chez les organismes supérieurs, la parthénogenèse est donc manifestement une perte de sexualité et non pas une forme ancestrale.

Bernard Jacques. Disposons-nous d'arguments pour exclure la possibilité d'une origine multiple de la vie, ou pouvons-nous penser qu'elle ait pu apparaître plusieurs fois ou qu'elle soit continuellement en train de réapparaître ?

Jacques Ninlo. La représentation de l'évolution sous la forme d'un arbre crée une illusion. En reliant un ancêtre à deux descendants, puis quatre, huit, etc., on donne l'impression d'une ramification, mais c'est un artifice de généalogiste. Il est possible que tous les hommes aient un ADN mitochondrial issu d'un ancêtre commun vivant il y a cinq cent mille ans, mais cet ancêtre vivait au sein d'une population nombreuse. Pour une population limitée et un gène donné, qu'il y ait sélection ou non — la théorie neutraliste le montre avec force —, tous les exemplaires sont issus d'un parent unique, mais rien ne dit qu'il vivait tout seul.

En outre, l'origine de la vie fut à mon avis une période de brassage et de foisonnement. Aussi, je ne raisonnerai pas en termes d'unicité ou de multiplicité de l'origine mais en termes d'états successifs de développement organique, avec d'abord des synthèses prébiotiques à la Stanley Miller puis certaines formes d'auto-organisation, enfin une individualisation progressive de structures particulières en cellules. Éventuellement, une cellule a été l'ancêtre de toutes

les cellules actuelles — mais ce n'est pas nécessaire. En effet, si l'on peut toujours remonter, pour un caractère donné, à un ancêtre commun, rien ne prouve que l'ancêtre commun relatif à un autre caractère soit le même.

Pierre-Henri Gouyon. On peut très bien imaginer que plusieurs systèmes auto-réplicatifs se soient associés en une nouvelle forme, mais faut-il appeler cela une origine multiple ? Tout être vivant fonctionne aujourd'hui à partir d'acides nucléiques et avec le même code. Ce qui rend l'hypothèse des origines indépendantes difficile à tenir.

Jacques Ninio. Un ancêtre commun de la vie, ce n'est pas l'origine de la vie.

Pierre-Henri Gouyon. Certainement, mais bien que l'on ne puisse prouver l'impossibilité d'une convergence, personne n'y croit ; alors on se range sous l'hypothèse de l'ancêtre unique.

La théorie de l'évolution.

Importance et lacunes d'un cadre de référence

AGONE. Les questions que nous aimerions aborder maintenant concernent la portée explicative de la théorie de l'évolution. Les biologistes admettent généralement que cette théorie n'a pas la forme logique d'une loi invariable de fonctionnement du monde empirique, comme c'est le cas des lois de la matière. Mais le statut de la théorie de l'évolution, comme cadre de référence incontournable pour comprendre la variété des formes de vie, fait l'objet de controverses régulières qui divisent entre eux les biologistes. Ce statut, et l'enjeu épistémologique (voire idéologique) qu'il représente, semblent entièrement contenus dans la proposition qui énonce que

toute forme de vie, en ses caractéristiques les plus élémentaires comme les plus complexes, représente une solution particulière à un problème posé par la sélection naturelle.

Dans cette perspective, la théorie de l'évolution peut être vue comme une façon particulière de poser les problèmes en biologie, et une façon également particulière de tenter d'y répondre. La question qui vient alors à l'esprit est de savoir si certains problèmes que se posent les biologistes peuvent sortir de ce cadre de référence, et s'il s'avère nécessaire, dans ce cas, de trouver de nouveaux aménagements au cadre initial ou, plus radicalement, de lui substituer un autre cadre, jugé mieux adapté.

Pour engager la discussion sur un terrain concret, nous vous proposons d'aborder le problème des scénarios adaptatifs.

Un scénario adaptatif est une explication de l'existence d'un trait ou d'un ensemble de traits phénotypiques propres à un groupe d'individus appartenant à la même espèce. La notion de scénario se déduit du fait que cette explication recourt à un syllogisme bien connu des biologistes : ce qui est vivant, à un moment donné, a survécu à la sélection naturelle, et tout caractère d'un individu ayant survécu à la sélection naturelle représente un bénéfice adaptatif pour cet individu.

La question que nous proposons pour ouvrir le débat est alors la suivante :

— Quelle maîtrise avons-nous des opérations intellectuelles auxquelles nous soumet la notion de scénario adaptatif ? Pour le dire autrement : quelles sont les raisons qui nous permettent d'isoler un trait phénotypique (morphologique, physiologique, comportemental, etc.) de l'ensemble que représente l'organisme intégré, et comment apprécier scientifiquement les produits d'un raisonnement syllogistique sur ces traits ?

Jean-François Gérard. Chez un grand nombre d'ongulés communs, les cornes ou les bois apparaissent assez tardivement dans le développement, en général après la mise bas. Ces appendices frontaux des mâles, et parfois des femelles, se développent tout au long de la croissance. Il existe ainsi une corrélation entre la taille du corps

et celle de ces appendices puisque tous deux dépendent de la durée de développement. Ce phénomène, mis en évidence par Huxley, est appelé allométrie de croissance. En Écosse, les cerfs sont plutôt petits et, corrélativement, leurs bois sont réduits. Par contre, le même cerf, implanté en Nouvelle-Zélande, sur un terrain plus riche du point de vue alimentaire, voit ses bois se développer plus rapidement que sa taille.

On peut donc en conclure que l'allométrie de croissance pouvant lier plusieurs traits, il s'avère déjà délicat d'appliquer un scénario adaptatif sur un trait isolé. Mais celle-ci variant avec les conditions de l'environnement, on ne peut même plus établir une relation univoque entre les valeurs sélectives de chaque trait.

Pierre-Yves Quenette. Je poursuivrai en développant une conception globaliste de l'individu, qui exclut l'application de raisonnements adaptatifs sur les traits isolés d'un organisme, en particulier à l'aide du phénomène d'hétérochronie du développement. On distingue deux types d'altération du processus de développement. Le premier consiste en un ralentissement de la croissance qui conduit à une conservation des caractères juvéniles ancestraux : la néoténie, qui correspond à un retard du développement des organes somatiques, produit des individus de taille adulte qui ont conservé des caractères juvéniles ; la progénèse se traduit par une maturation sexuelle précoce qui, en bloquant le développement, maintient l'individu à une forme et une taille juvéniles. Le second type d'altération du processus de développement est une accélération de la croissance qui produit, par rapport à l'espèce ancestrale, un hyper-adulte au développement sexuel retardé et de grande taille. Pour expliquer le phénomène de progénèse, on a avancé l'hypothèse d'une sélection de type r (qui favorise une reproduction précoce, un développement rapide et des espèces de petite taille), qui aurait agit sur le processus de maturation sexuelle. Cette sélection conduit, par voie de conséquence, à un ensemble de caractères juvéniles interdépendants qu'il paraît difficile d'isoler aux fins d'une recherche des explications adaptatives de chacun des traits pour les corréler avec le succès reproducteur et/ou les chances de survie.

Pierre-Henri Gouyon. À mon sens, ces deux exposés sont une critique d'un darwinisme qui n'est plus aujourd'hui d'usage. Il faut en effet replacer la biologie évolutive contemporaine dans un cadre historique. C'est dans les années trente que l'on a associé l'idée darwinienne d'évolution par sélection naturelle aux lois de l'hérédité. Dans cette période d'euphorie, on a baptisé théorie synthétique de l'évolution le paradigme qui a permis le regroupement des disciplines biologiques, et à partir de là, on a cru pouvoir tout expliquer en termes de génétique des populations et de sélection naturelle. On en est venu à considérer tout trait phénotypique comme à priori adapté. Cette manière de voir l'évolution s'est modifiée dans les années soixante-dix, où l'on s'est rendu compte que l'on ne pouvait continuer à raisonner sur des caractères isolés. Puis, lors d'un colloque de la Société Royale anglaise sur l'évolution, il y eut la conférence de Gould et Lewontin. Il commencèrent par vingt minutes d'exposé sur l'architecture de la cathédrale Saint-Marc de Venise, montrant combien elle était bien faite. Ils expliquèrent qu'au sommet de chacun des piliers, au nombre de quatre, qui soutiennent le dôme, se trouvaient quatre très belles structures triangulaires (appelées trompes) représentant chacun des évangélistes : l'architecte avait été particulièrement bien inspiré de disposer là ces structures. Après s'être ainsi joué de l'assistance, ils expliquèrent que celles-ci n'étaient pas le fruit du génie de l'architecte, mais résultaient de contraintes architecturales ; en effet, à la jonction d'un dôme rond et de deux piliers apparaît nécessairement une structure triangulaire. Cet exemple illustre ironiquement ce problème majeur posé aux évolutionnistes : connaître la part respective des contraintes et des facteurs adaptatifs dans l'émergence d'une structure.

Si tout le monde s'accorde sur l'affirmation : « Ce qui est vivant à un moment donné a survécu à la sélection naturelle », en revanche, l'affirmation : « Tout caractère d'un individu ayant survécu à la sélection naturelle représente un bénéfice adaptatif pour cet individu », est maintenant abandonnée. Cette attitude est désormais qualifiée de « panglossienne ». (Inventé par Voltaire pour se moquer de Leibniz, Pangloss est ce précepteur de Candide qui enseignait la métaphysico-théologo-cosmolo-nigologie et le principe suivant lequel il n'existe point d'effets sans causes, et que dans ce meilleur

des mondes possibles, toute cause ayant une fin, elle était nécessairement la meilleure ; les nez sont donc faits pour porter des lunettes, c'est pourquoi nous avons un nez.) Le terme de panglossien fut introduit dans le débat évolutionniste pour remplacer, à mon sens, le terme « finaliste » ; au sens de finaliste naïf. Car il existe deux manières d'être finaliste, une bonne et une mauvaise : dire que le nez est fait pour respirer sous la pluie, est par exemple déjà plus intéressant.

La conférence de Gould et Lewontin s'appelait « Les trompes de Saint-Marc et le paradigme panglossien. Une critique du programme adaptationniste ² ». Mais le mot de panglossien avait déjà été employé par Haldane dès les années quarante ; ce débat existe donc depuis longtemps au sein de la biologie évolutive, et il ne faut pas déguiser les évolutionnistes en moulins à vent pour les combattre ensuite à la manière de Don Quichotte. « Tout caractère d'un individu ayant survécu à la sélection naturelle représente un bénéfice adaptatif pour cet individu », ce n'est pas ce que pensent les évolutionnistes.

La question importante reste de savoir comment la sélection naturelle peut agir sur un caractère donné — ce qui est un problème délicat. En effet, si tous les caractères étaient intégrés au point que toute modification de l'un entraîne aussitôt une modification de l'ensemble des autres, on voit mal comment il y aurait pu y avoir évolution. Pour que la sélection naturelle puisse opérer, il faut un minimum d'indépendance entre les différentes composantes d'un individu. La difficulté reste de mesurer ces correspondances et les diverses contraintes qui pèsent sur la constitution d'un organisme.

Bernard Brun. À mon sens, l'affirmation : « Ce qui est vivant à un moment donné a survécu à la sélection naturelle, et tout caractère d'un individu ayant survécu à la sélection naturelle représente un bénéfice adaptatif pour cet individu », est non seulement dépassée depuis les années soixante-dix, mais n'a jamais eu, sous cette forme extrême, la moindre réalité. L'équation « théorie néo-darwinienne de l'évolution » égale « théorie de l'évolution sous l'influence de la sélection naturelle » est une représentation caricaturale, d'abord du darwinisme, et ensuite de la théorie synthétique de l'évolution. Il me semble tout à fait significatif que Darwin lui-même ait fait

suivre le paragraphe où il donne sa définition la plus connue de la sélection naturelle par le commentaire suivant : « Mais à côté de ces caractères, il y en a d'autres qui ne sont ni utiles, ni inutiles, et qui pourront se répandre ou disparaître dans l'espèce, en quelque sorte par hasard². » Il donnera plus loin pour exemple les vaches qui vivent sur les îles Falkland sans craindre aucun prédateur, et dont la coloration peut varier sans qu'on puisse lui trouver une signification adaptative. On peut donc tenir Darwin pour un précurseur de la théorie neutraliste de l'évolution. En outre, l'un des fondateurs de la théorie néo-darwinienne de l'évolution est connu pour avoir introduit l'expression de « dérive génétique », qui n'est rien d'autre que la théorie de l'évolution des caractères neutres.

Je prétends donc que la présentation du néo-darwinisme comme une théorie panglossienne, est une accusation du type : « Qui veut noyer son chien l'accuse de rage. » D'autre part, les critiques formulées par Lewontin et Gould fondées sur l'exemple de la cathédrale Saint-Marc peuvent être retournées contre eux. Pourquoi les coupoles et les nefs ont-elles été construites sur la base de colonnes ? Peut-être afin de ménager des espaces vides ou pleins pour les vitraux et les peintures.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'isolement d'un trait adaptatif, ces auteurs ironisent sur la question de savoir si le menton, présent dans l'espèce humaine mais absent chez les autres primates, a une signification adaptative. Ils répondent en disant que l'évolution du développement de la mâchoire est seule responsable de la proéminence du menton. On oublie que par cette critique, Gould et Lewontin ne quittent pas la logique adaptationniste. En nous mettant en garde contre l'isolement hâtif de caractères sur lesquels sont construits de mauvais scénarios adaptatifs, ils ne font qu'indiquer la bonne manière de travailler : choisir judicieusement les caractères et leur

2. La citation exacte est : « Des variations sans utilité, des déviations qui ne sauraient nuire ni aux individus ni à l'espèce, ne peuvent être affectées par cette loi [de la sélection naturelle] et demeureront à l'état d'éléments variables : c'est ce qu'on observe peut-être chez les espèces polymorphes. » (*De l'origine des espèces*, chapitre v, traduction Clémence Royer. n. d. l. r.)

trouver une histoire adaptative valable. Autrement dit, leur critique se situe, malgré eux, dans la logique adaptationniste.

La question de la pertinence de l'isolement d'un caractère, qu'on retrouve régulièrement dans les critiques adressées à la théorie néo-darwinienne, peut s'appliquer à n'importe quelle discipline. Lorsque nous découpons un trait géomorphologique, un trait comportemental, lorsque nous classons des professions, etc., quelles garanties avons-nous de la pertinence de ces choix si ce n'est la qualité et l'intérêt du travail qu'ils permettent de réaliser ?

À mon sens, la théorie néo-darwinienne de l'évolution s'articule sur les deux grands concepts de sélection naturelle et de dérive génétique, la dérive génétique expliquant le développement de caractères qui n'ont pas de signification adaptative. On a probablement longtemps surestimé l'importance de la sélection naturelle, mais comme il n'existe aucun moyen de réaliser une pondération objective de ces deux mécanismes, cette affirmation reste subjective. La théorie neutraliste n'est qu'un rééquilibrage, et elle est présentée à tort comme une alternative à la théorie néo-darwinienne de l'évolution.

AGONE. Une autre question, également liée à ce problème du cadre de référence qu'offre (ou impose) la théorie de l'évolution au raisonnement biologique : la sélection naturelle est-elle un processus d'optimisation de la capacité de survie des individus, et doit-on faire de toute stratégie adaptative évolutivement stable la meilleure possible ?

Pierre-Henri Gouyon. Je crois que cette question pose d'abord un problème de vocabulaire. Dire qu'une stratégie est évolutivement stable, c'est dire que tout individu qui ne l'adopte pas se reproduit moins que ceux qui l'adoptent. Mais dire qu'une stratégie est évolutivement stable ne veut absolument pas dire qu'elle est optimale. Prenons l'exemple des stratégies démographiques : pour optimiser la taille d'une population, il est clair qu'il faut engendrer beaucoup moins de fils que de filles, tandis que la stabilité est obtenue pour un *sex-ratio* de cinquante pour cent, qui est le cas le plus répandu dans la nature — à l'exception des insectes eusociaux (abeilles, fourmis, guêpes, termites). Il ne faut donc pas confondre stratégie évolutivement stable et optimisation.

Le succès de la théorie des jeux en biologie évolutive vient d'ailleurs de ce qu'elle permet la recherche d'un optimum sous contrainte. Ainsi, le calcul d'une maximisation de la reproduction n'aboutit pas nécessairement à un optimum. En outre, dans un jeu évolutif, les joueurs pouvant être de toute sorte, depuis le gène jusqu'aux espèces, chaque structure qui se reproduit jouera éventuellement contre toutes les autres. Dans cette perspective, un génome peut être le cadre d'un jeu où chaque gène joue à se reproduire pour son propre compte, indépendamment du bénéfice que pourra en retirer le génome ou même le porteur. Un tel système n'est certainement pas optimisé, mais simplement le résultat de compétitions individuelles. Dans les années soixante-dix, on a découvert qu'une grande partie du génome était non-codant ; sa fonction est restée un mystère jusqu'à la parution d'un numéro spécial de la revue *Nature*, intitulé : « *Selfish-DNA : the ultimate parasite* » (L'ADN égoïste, le parasite ultime). Deux articles proposaient l'hypothèse que cet ADN surnuméraire, simple parasite interne, n'avait d'autre fonction que celle de se reproduire aux dépens du reste du génome.

Pierre-Yves Quenette. La définition de la sélection naturelle comme processus d'optimisation de la valeur sélective d'une population est probablement issue des modèles de génétique des populations.

Dans un article assez récent, Parker et Smith réintroduisent le concept d'optimum pour deux types de sélection. Lorsque la sélection est fréquence-indépendante (c'est-à-dire quand la valeur sélective des individus d'une population est indépendante de la fréquence des autres génotypes ou phénotypes de la population), ils parlent d'optimum unique. Par contre, pour une sélection fréquence-dépendante (c'est-à-dire quand la valeur adaptative des individus est dépendante de la fréquence des stratèges présents dans la population), ils parlent d'optimum compétitif. Pourquoi vouloir conserver à tout prix le terme, alors que l'on n'a manifestement pas affaire à un optimum ; et qu'une stratégie évolutivement stable n'est définie, du point de vue mathématique, qu'en termes de stabilité ?

Nous avons choisi d'illustrer nos propos à partir du jeu bien connu « Bourgeois-Faucon-Colombe ». Un jeu se caractérise par une matrice de valeurs sélectives qui comptabilisent les gains obtenus

lors de chaque rencontre entre les différents individus de la population. On peut déterminer ensuite, à partir de cette matrice, la dynamique du jeu en calculant la proportion de chaque type d'individu présent dans la population à chaque génération. Or, selon les valeurs des coefficients de la matrice, la dynamique évolutive peut ou ne peut pas tendre vers une maximisation de la *fitness* moyenne de la population. Il faut noter néanmoins que dans ces deux situations, les dynamiques du jeu sont identiques, d'un point de vue qualitatif, puisque l'on aboutit, au terme du processus évolutif, vers une population constituée de 100 % de Bourgeois. En conclusion, un processus sélectif ne conduit pas systématiquement vers un optimum de la *fitness*³.

Bernard Brun. Il est certain que la théorie des jeux a ouvert un nouvel espace de recherche sur l'évolution, mais il reste à savoir si cette théorie contredit l'approche néo-darwinienne. Je crois que de nombreux malentendus viennent de la difficulté à définir de façon rigoureuse ce que l'on entend par sélection naturelle. On ne sait d'ailleurs pas toujours si les néo-darwiniens eux-mêmes usent de métaphores ou si leurs termes recouvrent un sens défini scientifiquement. Toujours est-il que Pierre-Yves Quenette a parlé de la sélection naturelle comme d'un processus d'optimisation de la valeur sélective des individus d'une population. C'est une définition tout simplement fautive, qui ne correspond pas à la théorie néo-darwinienne, la sélection naturelle n'étant pas nécessairement un processus d'optimisation, même si elle conduit dans certains cas à fixer un optimum. (Il est d'ailleurs regrettable que cette définition fautive circule abondamment, y compris chez les néo-darwiniens.)

La très commode expression « pression de sélection » — que j'ai moi-même peut-être employée — induit également des erreurs de raisonnement qui brouillent les débats. Par définition, le processus de sélection est un processus de reproduction différentielle d'individus

3. On trouvera un développement illustré de cette argumentation dans un article de Pierres-Yves Quenette & Jean-François Gérard, « D'une sélection naturelle vers une évolution guidée par les contraintes », publié dans ce numéro, p. 75-92.

appartenant à des classes de génotypes différentes. De sorte que la sélection n'est pas plus une force extérieure qu'intérieure à l'espèce, mais simplement le résultat d'une confrontation, à l'intérieur de l'espèce, entre une certaine diversité génétique et la situation écologique de l'espèce.

Pierre-Yves Quenette. Dans mon exposé, je ne faisais pas référence à des facteurs externes agissant sur la valeur sélective. Toutefois, l'idée d'un individu soumis à des forces sélectives est omniprésente dans la bibliographie. Cette idée procède d'une analogie avec les systèmes physiques qui, soumis à des forces extérieures, tendent vers un équilibre.

Bernard Brun. Précisément, les concepts de sélection et de valeur adaptative n'ont de pertinence que statistique ; et, bien que l'on emploie l'expression régulièrement, il n'y a aucun sens à parler d'une sélection qui s'exerce sur un individu, cette formulation est étrangère à la théorie de la génétique des populations — il importe d'éclaircir le statut logique des propositions que l'on emploie.

Concernant l'emploi des termes d'optimisation et d'optimum, il me semble qu'il y a quelque absurdité à ne pas définir au préalable ce qui est optimisé et selon quel standard. Quand Pierre-Henri Gouyon évoquait l'optimisation de la proportion de descendants mâles et femelles, il définissait l'optimum pour un excès de femelles. Mais un optimum de quoi et par rapport à quel standard ? Par exemple, du point de vue de l'individu, qui est en règle générale celui de la propagation des gènes, l'optimisation du nombre de descendants conduit à un *sex-ratio* équilibré.

Pierre-Henri Gouyon. La situation de stabilité est certes de produire autant de mâles que de femelles, mais si on s'accorde pour garder plus de femelles, la population augmente. L'exemple des éleveurs montre bien que pour obtenir le plus de descendants possible, il faut conserver plus de femelles que de mâles.

Bernard Brun. Un tel raisonnement ne vaut que si l'on néglige le phénomène écologique de saturation des ressources.

Pierre-Henri Gouyon. Le problème des ressources importe peu. Dans le cas d'un *sex-ratio* à femelle majoritaire, chaque mâle laisse, en moyenne, plus de descendants que chaque femelle. Dans cette situation, un gène augmentant la production des mâles sera favorisé, jusqu'à ce que la population atteigne un *sex-ratio* d'un demi. Quoi qu'il en soit, dans le cas d'une sur-représentation des femelles, chaque individu produit en moyenne plus de descendants. C'est par exemple le cas des espèces qui se reproduisent en vase clos, comme certains parasites de larves ou certains petits hyménoptères qui pollinisent les fleurs de figuiers. Une femelle abandonne ses descendants mâles et femelles à l'intérieur d'une figue. Les mâles fécondent les femelles qui sortent après fécondation. Pour maximiser sa reproduction, la femelle a tout intérêt à produire plus de femelles et juste ce qu'il faut de mâles pour les féconder. Chez ces pollinisateurs de figuiers, vous trouvez environ un mâle pour vingt femelles.

AGONE. Avant de clore ce débat sur la portée explicative de la théorie de l'évolution, nous voudrions interroger plus particulièrement certains d'entre vous sur l'approche qui consiste à accorder aux organismes des propriétés de plasticité interne et d'auto-organisation leur permettant de faire face à la pression de sélection, sans qu'il soit nécessaire, pour eux, de posséder les moyens spécifiques d'une réponse adaptée.

Certaines souches de bactéries ont la capacité de muter sélectivement en fonction des contraintes de milieu auxquels elles font face. Cette affirmation, fondée sur l'étude expérimentale, a eu pour conséquences de lancer une polémique autour de l'importance accordée au dogme de l'origine aléatoire des mutations et, le dogme étant atteint, de remettre en cause le modèle mutation-sélection comme moteur de l'évolution. Il est cependant plusieurs façons de renforcer ce modèle tout en rendant compte de ces observations. La théorie des stratégies d'adaptation moléculaire développée par Jacques Ninio est une façon de concevoir une capacité intrinsèque des organismes à s'adapter et évoluer, qui ne contredit pas le schème mutation-sélection. Pour ne pas suivre les voies de la rupture spectaculaire, ce type de travail fait avancer l'étude des mécanismes intimes de l'adaptation.

Jacques Ninlo. Il y a plusieurs catégories de mutation, et un organisme peut gérer la production de chacune de ces catégories. En retenant une mutation particulière, l'évolution retient en même temps le mode de production qui l'a rendue possible.

Dans les années trente, quand on parlait de mutations, on pensait à des cassures ou de gros remaniements chromosomiques, comme en provoquait Müller au moyen de rayons X. À partir des années soixante, on a surtout discuté des mutations ponctuelles résultant du changement d'un seul nucléotide dans la séquence d'un gène. On connaît depuis des formes de variation plus douces, que l'on appelle des pseudo-mutations. L'ADN est habillé de groupements méthyl qui, associés aux séquences nucléotidiques, ont un grand rôle dans le développement. Cette parure peut varier, donnant naissance à des mutations apparentes, avec possibilité de retour à l'état initial en quelques générations.

Chaque niveau de variabilité est génétiquement codé : la possibilité de jouer avec les structures chromosomiques dépend des mécanismes de recombinaison ; la fréquence des mutations ponctuelles est contrôlée par les enzymes de réplication et de réparation — ces derniers corrigeant plus ou moins les erreurs ; enfin, la gestion des groupements méthyl est également sous contrôle génétique.

La gestion de la variabilité se fait à différents niveaux. Si l'on peut faire une analogie, pour changer une loi dans un pays, on peut faire voter une autre loi par le parlement, ou élire d'abord une nouvelle chambre, ou changer le mode d'élection des députés, etc.

Dans le cas de la maladie du sommeil, l'organisme est envahi par le trypanosome, qui affiche une certaine protéine à la surface de sa membrane, choisie parmi un stock de modèles disponibles tous différents, codés dans son génome. Le système immunitaire détecte la protéine étrangère et élimine les trypanosomes qui la portent. Mais quelques-uns, qui ont affiché une autre protéine du stock, survivent, prolifèrent, et le cycle repart pour un tour...

À mesure qu'un génome se complexifie, il devient de plus en plus difficile d'améliorer une fonction par modification d'un seul gène. Pensons à une machine comportant un grand nombre de composants. Après l'avoir améliorée en éliminant les défauts majeurs, vient un temps où le perfectionnement d'un seul composant ne

change plus grand-chose aux performances de la machine. Une amélioration diffuse et modeste, portant sur un grand nombre de composants (un relèvement général mais modéré des normes de fabrication) devient plus efficace. C'est pourquoi, sans doute, les génomes complexes utilisent abondamment des protéines qui agissent de manière diffuse sur vingt ou trente gènes ou protéines différents, augmentant l'activité des uns, diminuant celle des autres.

Existe-t-il des arguments strictement biologiques qui nous permettent de traiter des phénomènes tels que la conscience humaine et la connaissance comme les produits de la sélection naturelle ?

AGONE. Nous commencerons par une citation extraite d'un ouvrage de Jacques Ninio, dans lequel il présente en particulier les hypothèses selon lesquelles diverses capacités cognitives et perceptives, telles que l'analyse texturale (distinguer une forme dans une trame) ou la vision stéréoscopique, auraient représenté à un stade primitif un avantage adaptatif. « Imaginons, dans la forêt, un léopard caché derrière les feuillages, écrit Jacques Ninio. Une vision stéréoscopique, qui prêterait attention aux textures, qui chercherait à assembler des fragments de même texture en tout cohérents serait l'instrument idéal pour repérer le danger. La vision stéréoscopique, telle que nous l'avons héritée, est avant tout une arme anti-camouflage. Bien que nous ne l'utilisions plus en société dans ce but⁴. »

Jacques Ninio. Dans *L'Empreinte des sens*, j'ai tenté d'exposer ce que nos perceptions doivent à toute une analyse inconsciente de la réalité et comment celle-ci contribue à notre interprétation du monde. Il faut prendre conscience du cheminement qui mène

4. *L'Empreinte des sens*, Éditions Odile Jacob, 1989, page 97.

du monde extérieur à nos représentations. Un organisme vivant est une enveloppe plongée dans un univers de particules et de rayonnements. L'œil reçoit des photons, et en informe le cerveau par des signaux aussi abstraits que le « bip-bip » d'une sonde spatiale. De ces signaux, l'organisme doit extraire des diagnostics pour répondre aux questions pratiques posées par l'environnement.

Pour une bactérie, le problème est de repérer une source de nourriture ; ainsi, les premiers systèmes sensoriels ont dû détecter la présence de molécules. Dans un récipient où l'on a constitué une source locale de glucose, une bactérie se dirige vers la nourriture comme s'il s'agissait d'un mouvement intentionnel. En fait, lors de ses déplacements au hasard, la bactérie compare simplement la concentration présente de glucose à celle de l'instant précédent, et progresse dans la même direction tant que la concentration augmente. Dans le cas contraire, elle bascule et part au hasard dans une autre direction. Cette faculté peut être considérée comme une forme archaïque d'odorat.

L'apparition des yeux est liée à la détection des prédateurs. Dans sa forme la plus élémentaire, l'œil est l'équivalent d'une cellule photo-électrique. Un des organismes favoris de Darwin, le cirripède, possède des centaines de petits bras ayant, à chaque extrémité, l'équivalent d'une cellule photo-électrique. Lorsqu'une chose mouvante (animal prédateur ou non) interrompt le flux lumineux qui parvient à ces cellules, l'animal rétracte ses pattes et se protège aussitôt. Cette fonction met en relation une réponse mécanique directe avec une variation du flux lumineux.

Une autre fonction, nettement plus complexe — l'orientation — s'est ensuite mise en place. Un animal en quête de nourriture, qui quitte son habitat pour explorer l'espace environnant, doit pouvoir revenir à son point de départ, de préférence en ligne droite.

La vision chez les organismes supérieurs s'est constituée en réponse à des problèmes biologiques particuliers, tels que l'identification d'un partenaire ou l'orientation. La fabrication d'outils par les ancêtres de l'homme a peut-être impliqué le développement d'aptitudes visuelles nouvelles. J'essaye de retrouver, dans notre manière de voir le monde, les héritages de notre passé animal, pour repérer ensuite les traits spécifiquement humains.

L'image que nous avons dans la tête n'est pas une photographie. Elle présente des informations triées et interprétées selon des choix particuliers. Un de ces choix concerne l'échelle de temps des observations. Si je regarde une montre, je vois l'aiguille des secondes bouger et, si la montre est assez grande, l'aiguille des minutes également. Mais je ne peux pas aller au-delà, et voir l'aiguille des heures se déplacer. La nature n'a pas fait le même choix pour l'oiseau, lequel est capable de percevoir des mouvements aussi lents que celui d'une aiguille marquant les heures, et je pense que cela lui sert à s'orienter ! Un oiseau migrateur, qui doit parfois se rendre à dix mille kilomètres de son point de départ, s'oriente par rapport aux étoiles et, dans une moindre mesure, par rapport au champ magnétique terrestre. Or les étoiles bougent, et si l'oiseau définissait son cap par rapport à l'une d'entre elles, son calcul échouerait. C'est en partie à cause de cela que l'homme a dû inventer les cartes de navigation et les cartes du ciel ; la solution des oiseaux est plus simple, elle consiste à être capable de voir les étoiles bouger. En se déplaçant, celles-ci laissent des traînées lumineuses dans le ciel qui ont toutes la même direction, par rapport à laquelle l'oiseau peut s'orienter en toute sécurité.

La vision extrait de l'environnement des mouvements, dont les principaux sont la translation, l'expansion et la rotation par rapport à la direction de visée. Ces choix se retrouvent dans notre manière de voir des motifs texturaux dans des images fixes. Nous détectons très mal la symétrie par rapport à un point, qui est mathématiquement simple, mais ne correspond à rien de naturel, mais nous repérons parfaitement les indices d'expansion, lesquels sont synonymes de danger (la pierre qui arrive sur l'œil).

Nous reconnaissons sans difficulté un visage derrière un grillage, nous lisons facilement un texte raturé, nous identifions immédiatement deux dessins superposés par une chaise et une bicyclette dessinées en superposition. Pour le faire, un programme d'ordinateur doit suivre une ligne puis, arrivé à une intersection, se demander si elle appartient ou non à la même figure. Le nombre de bifurcations devient vite prohibitif. Mais le développement de cette capacité correspond à un problème quotidien de la vie animale : d'un prédateur caché derrière des feuillages, on reçoit des fragments

visuels de pelage, mélangés à des fragments visuels de feuillage. L'objectif de la vision dans ce cas est de séparer les entités : d'une part un arbre et de l'autre un prédateur. Nous sommes munis de procédures puissantes pour reconstituer un objet unique à partir de ses fragments, et devons ce pouvoir à notre héritage animal. C'est en étudiant les réponses données à certains problèmes précis posés dans le monde animal que l'on pourra éventuellement comprendre comment s'est constituée notre vision, et pourquoi ce qui paraît étrange aux mathématiques nous est évident.

Philippe Vernier. M'intéressant particulièrement aux systèmes de signalisation cellulaire, je ne peux que souscrire à votre propos. Ainsi, du point de vue structural et dans leurs modalités fonctionnelles, les systèmes qui reconnaissent les agents chimiotactiques (les phéromones) utilisés par les levures ou bien d'autres unicellulaires, ont été conservés dans le système nerveux humain ; ces systèmes de signalisation se diversifient pour chaque modalité de communication élémentaire et s'organisent en modules fonctionnels relativement interchangeables. Alors que le système effecteur varie d'une cellule à l'autre (ce qui fait la spécificité des différents types de cellules), le même système de signalisation peut être utilisé pour ces différentes fonctions. L'évolution peut ainsi agir indépendamment sur les systèmes de signalisation et de réponse, pour les combiner de façons extrêmement diverses ; les réponses générées à chaque niveau de complexification dans les ensembles de composants interactifs auxquels participe un système de signalisation n'étant pas immédiatement réductibles au fonctionnement élémentaire du système observé. Est-ce pour autant une vision « émergentiste » des processus dits cognitifs ? Je ne le crois pas. Il s'agit plus exactement d'une conception organisationnelle des systèmes sensoriels complexes. L'avantage de cette démarche est de rompre avec un finalisme stérile, « panglossien » précisément : il ne s'agit plus de se demander simplement à quoi sert telle structure, mais au contraire de rechercher comment une réponse fonctionnelle dépend d'une organisation anatomique ou biochimique.

Ainsi, une même molécule photosensible (la rhodopsine) est présente chez certaines bactéries ou certains unicellulaires eucaryotes

ainsi que dans la rétine des mammifères. Au sein d'une approche phylogénétique de la cognition, quasiment inexistante à l'heure actuelle, l'étude des stratégies d'organisation et d'utilisation de ce type de composant moléculaire serait d'un grand intérêt.

Bernard Brun. On peut remarquer qu'il ne serait pas possible, en souscrivant aux injonctions de Lewontin et de Gould, de reconstituer les scénarios adaptatifs que l'on nous propose maintenant, ni de tenir de tels discours.

Pierre-Henri Gouyon. En outre, puisqu'ils affirment que la pose d'une coupole sur des piliers exige de procéder de telle et telle façon, le scénario architectural de Gould et Lewontin est adaptatif.

Pierre-Yves Quenette. Connaître le but ou la fonction des parties d'un édifice ne suffit pas à en expliquer la structure d'ensemble. Certaines contraintes d'ordre historique ou structurale excluent certaines formes d'architecture. Bernard Brun voudrait expliquer les propriétés du vivant uniquement à partir de la sélection naturelle et de la dérive génétique, mais en procédant ainsi, on risque d'oublier ou de minimiser la part de contraintes qui rend possible telle solution évolutive plutôt que telle autre.

Bernard Brun. Il n'est pas question d'ignorer l'importance de ces contraintes, mais il faut rester ferme sur la validité d'un certain cadre interprétatif. Or le raisonnement sur les contraintes ne sert généralement qu'à contester les concepts qui donnent à la théorie darwinienne son articulation.

Pierre-Henri Gouyon. La plupart des organismes vivants sont programmés pour mourir — c'est un point de biologie évolutive où, très tôt, il est apparu nécessaire d'introduire la notion de contrainte. Dans les années soixante, on a compris que le processus de vieillissement était lié au fonctionnement des gènes ; or, lorsqu'on a tenté d'expliquer génétiquement ce phénomène, on s'est aperçu qu'il existait une corrélation négative entre le temps de survie d'un individu, son âge adulte, et son efficacité reproductive. Chez certaines espèces

de plantes annuelles ou chez des insectes comme les cigales, la mort suit immédiatement la reproduction. Or on imagine mal que les gènes puissent coder la mort de l'individu si cela ne représente pour eux aucun avantage reproductif. On a donc été amené à postuler que la sélection naturelle avait dû favoriser les organismes susceptibles de mobiliser toutes leurs ressources dans la reproduction de leurs gènes. Enfin, on peut facilement montrer que ces contraintes sur l'efficacité des individus à reproduire leur information génétique conduit à sélectionner des êtres mortels.

Philippe Vernier. Je voudrais demander à Jacques Ninio quelle augmentation ou quelle levée de contrainte serait susceptible d'expliquer le passage des phénomènes perceptifs élémentaires qu'il nous a décrit à des phénomènes cognitifs plus complexes, comme le langage articulé, dont on peut imaginer qu'il suffit d'acquérir quelques bases élémentaires pour construire ensuite ce qui nous permet de nous exprimer aujourd'hui avec tout le raffinement de ce mode d'expression. Il y a certainement là un ordre de contrainte particulier à l'espèce humaine, mais quel est-il, et dans quel sens agit-il ?

Jacques Ninio. Plutôt que de répondre par des bêtises, je préfère me taire.

Jacques Senez. Pourquoi pensez-vous que cet ordre de contrainte soit particulier à l'espèce humaine ?

Philippe Vernier. Sans être anthropocentriste, je pense que la richesse langagière, les capacités d'abstraction, de construction théorique et d'interrogation sur l'être en tant que sujet nous distinguent radicalement du primate le plus proche de nous.

Jacques Senez. Mais il ne s'agit pas d'une différence d'essence. Quand un lion voit une gazelle, il sait que c'est une gazelle et, selon la taille de la proie, il peut estimer ses chances de la capturer, et il est capable de communiquer toutes ces informations à sa femelle.

Philippe Vernier. Je suis d'accord, cette différence n'est pas essentielle, l'ensemble des fonctions cognitives humaines existent déjà, diversement développées chez d'autres animaux. Et je ne nie pas l'existence d'une communication animale élaborée. Bien au contraire, j'ai affirmé qu'il serait très intéressant, et relativement nouveau, d'étudier de tels phénomènes d'un point de vue phylogénétique : que nous reste-t-il de ces processus cognitifs qui existent chez d'autres espèces, mais qui ont pris chez l'homme un développement singulier ? Et qu'est-ce qui leur a permis d'évoluer ?

Jacques Ninio. Il est possible d'aborder le problème à un niveau élémentaire, en se demandant, par exemple, si notre vision est supérieure à celle des singes. Si l'on raisonne en termes d'acuité, les deux se valent. Mais si l'on apprend à un singe à manipuler des formes symboliques, on constate qu'il est très attentif au contour externe de ces formes, et qu'il a tendance à négliger leur aspect intérieur. Notre manière de voir manifeste, au contraire, une aptitude très fine à discriminer ce qui est à l'intérieur des objets. Une des propriétés de la perception visuelle qui nous distingue du singe réside peut-être dans la manière que nous avons d'assembler plusieurs formes à l'intérieur d'une forme plus large : si vous repérez un compotier qui contient différents fruits et que les fruits sont changés de place en votre absence, vous ne remarquez pas le changement à votre retour. Vous avez retenu de l'objet que c'était un bol contenant telle et telle espèce de fruits. Leur disposition exacte importait peu. Mais pour un visage, il ne suffit pas qu'il y ait un nez, une bouche et deux yeux. Il faut aussi que les yeux soient au-dessus du nez, le nez au-dessus de la bouche, etc. Cela exige une tout autre finesse d'analyse dont il n'est pas sûr que le singe soit entièrement capable. À ce niveau de perception, nous opérons des distinctions que ne font sans doute pas les autres primates. Autre exemple : la ligne droite est un élément fondamental de l'orientation animale — tous les animaux sont capables de se diriger en ligne droite. Par contre, en tant qu'élément géométrique dans une forme, la ligne droite a nettement moins de pertinence dans le monde animal et on ignore à quel point les animaux y sont sensibles.

Mais c'est en matière d'audition que nous nous démarquons le plus nettement des singes. On a réussi à communiquer avec eux par le biais de formes abstraites, mais on n'est jamais parvenu à le faire au moyen de séquences sonores. Leur sensibilité au son n'est pourtant pas inférieure à la nôtre. Ce qui nous distingue d'eux, c'est notre aptitude à intégrer dans le temps de longues séquences acoustiques et les classer de manière fine.

Michel Schmitt. Je ne vois pas en quoi l'étude des performances auditives nous rapproche du phénomène de conscience. D'autre part, ne savons-nous pas construire des machines qui égalent nos performances visuelles sans pour autant posséder une conscience ?

Jacques Ninlo. Traiter des phénomènes de la conscience comme j'ai pu le faire de notre héritage animal en matière de perception visuelle serait verser dans l'imposture. Prenons l'exemple de la couleur. On peut très bien construire une machine — un spectrophotomètre — qui mesure l'intensité associée à chaque longueur d'onde de la lumière incidente. Le dispositif est facile à réaliser, et les problèmes théoriques qu'il pose ressortent des lois de la physique. Mais le fait de disposer d'une représentation des couleurs qui nous communique des sensations de jaune, de rouge, de vert, etc., relève de la conscience, non de l'implémentation d'un système physique, et nous ne savons pas encore rattacher cela aux lois de la matière.

Bernard Brun est chercheur au laboratoire Population-Environnement et enseigne à l'université de Provence (Marseille) où il est responsable du Certificat international d'écologie humaine. Il a publié de nombreux articles en génétique des populations, écologie humaine, éthologie et épistémologie de la biologie.

Jean-François Gérard est étudiant-chercheur à l'Institut de recherche sur les grands mammifères (INRA, Toulouse). Il a publié plusieurs articles d'éthologie et d'écologie, en particulier sur l'organisation sociospatiale de groupes de chevreuils, sur laquelle il travaille actuellement.

Pierre-Henri Gouyon est professeur à l'université Paris-Sud XI (Orsay) et responsable du Laboratoire d'évolution et systématique des végétaux. Il a publié de nombreux articles en écologie et génétique des végétaux, ainsi que plusieurs ouvrages, en particulier sur l'évolution du sexe — sujet sur lequel il vient de faire paraître un article de synthèse dans *La Recherche* (janvier 1993, n° 250, p. 70-76).

Jacques Ninio est directeur de recherche au CNRS (Laboratoire de physique statistique, ENS, Paris). S'il a travaillé sur le code génétique à l'Institut Jacques Monod, sur les origines de la vie au Salk Institute, puis sur l'analyse des séquences d'acides nucléiques et de protéines, il se tourne maintenant vers l'étude de la perception visuelle. Il a, entre autres, publié : *Approches moléculaires de l'évolution* (Masson, 1979), *L'Empreinte des sens* (Odile Jacob, 1989) et *La Biologie buissonnière* (Seuil, 1991).

Pierre-Yves Quenette est chercheur post-doctoral à l'Institut de recherche sur les grands mammifères (INRA, Toulouse). Étudiant sur le terrain l'organisation sociale de groupes de sangliers, il a publié plusieurs articles d'éthologie et d'écologie, s'attachant à montrer, à l'aide de la théorie des jeux, la place des contraintes dans l'évolution.

Philippe Vernier est chargé de recherche au CNRS (Institut Alfred Fessard, Gif-sur-Yvette). Il étudie la régulation de l'expression génique dans le système nerveux des mammifères, et s'attache en particulier à appliquer les théories et les méthodes de la biologie évolutive à une approche moléculaire de la neurotransmission. Il a récemment publié un article de synthèse sur ce sujet.

La théorie biologique

Remarques sur les fonctions des théories scientifiques

Parmi les scientifiques qui œuvrent dans les sciences expérimentales et qui ont quelque familiarité avec l'épistémologie, la représentation la plus commune de ce qu'est une théorie scientifique me semble être la suivante : une théorie suppose l'élaboration de concepts propres et consiste en un certain nombre de propositions fondamentales d'où, par déduction logique, peuvent être prédites des conséquences observables directement ou à travers des procédés plus ou moins sophistiqués d'observation ou d'expérimentation. Selon le point de vue popperien — largement prédominant — la théorie serait non pas « vérifiée » par l'observation de conséquences prévues mais simplement maintenue aussi longtemps qu'aucune des conséquences prévues ne serait contredite par des faits d'observation.

Même si quelques sommités de la recherche scientifique emboîtent bruyamment le point de vue de Popper, on peut remarquer que la

pratique scientifique quotidienne s'écarte notablement sous plusieurs aspects de la description schématique qui précède.

D'une part, la plupart des scientifiques restent imprégnés d'un positivisme naïf selon lequel les fonctions de l'expérimentation et de l'observation sont de « démontrer » la validité des hypothèses, c'est-à-dire d'établir un rapport indiscutable entre les propositions théoriques exprimées dans le langage scientifique et les événements d'un monde matériel indépendant — non pas toujours indépendant des procédures d'expérimentation et d'observation dans les phénomènes qu'il nous laisse observer, mais du moins indépendant de tout désir éventuel de l'observateur d'y trouver ceci plutôt que cela.

D'autre part, l'activité d'établissement de procédures de déduction à partir d'une théorie n'est qu'une fraction de l'activité scientifique, même si c'est sans doute la plus valorisée. Je ne m'étendrai pas ici sur les aspects exploratoires et créatifs de l'expérimentation et de l'observation. Je voudrais souligner par contre comment les théories scientifiques, sans pour autant prétendre à permettre une « déduction » sans faille, servent à « donner sens » à des faits d'observation. C'est sans doute dans les sciences marquées par le sceau de l'historicité que l'expression « donner sens » est la plus facile à faire comprendre, et c'est sans doute également là où la pratique scientifique qui lui correspond est la plus répandue — et la biologie est éminemment une science historique.

Avant de retourner à la biologie, je prendrai un exemple dans le domaine plus neutre de la géologie : quels qu'aient été les progrès récents de cette discipline, aucun géologue n'est prétentieux au point de proposer aucune théorie précise qui permettrait de déduire de ses prémisses l'existence en tel point du globe de telle forme de relief ; mais par contre, la géologie donne sens à l'existence de telle ride montagneuse, de telle falaise, de telle cataracte en en faisant remonter la cause plus ou moins proche dans tel mouvement du socle, telle faille, telle capture de rivière... En donnant sens à des particularités de relief, la géomorphologie contribue en outre à créer les catégories mêmes de l'observation et de l'interprétation : descendant la route des Alpes, là où la plupart de mes amis ne voient qu'une montagne facilement identifiable à la disposition de

ses falaises, le Serre de Chanel, je vois simultanément et presque indissociablement un synclinal perché. De la même façon, Mark Twain a raconté comment ce qui n'était, lors de ses premiers trajets sur le Mississippi, qu'assombrissement de la surface du fleuve, ou au contraire reflet argenté le long d'une rive, visions simplement chargées de nuances poétiques, était devenu par la suite l'indice matériel d'un haut fond, de la proximité d'un banc de sable ou d'un courant plus vif...

« Donner sens » c'est aussi généralement exclure d'autres sens. Il n'y a plus de génies du fleuve pour expliquer les tourbillons, les rapides ou les sables mouvants, et l'on oublie trop vite, tant cela semble évident, que la géomorphologie exclut tout caprice des dieux. Je développerai l'hypothèse que la résistance à la théorie néo-darwiniste de l'évolution s'explique autant par ce qu'elle exclut que par ce qu'elle explique, que les controverses majeures en biologie s'expliquent beaucoup moins par des difficultés d'observation¹ ou par la possibilité de pluralité de points de vue que par le désir fréquent de trouver une légitimation biologique à des convictions personnelles quant au sens de la vie et aux responsabilités éthiques personnelles² que la plupart des personnes lui relie.

Je défendrai à l'opposé le point de vue selon lequel la science biologique peut « donner sens » — au sens scientifique énoncé plus haut — aux particularités humaines, y compris aux particularités du psychisme humain, mais ne peut donner aucun sens éthique de la vie qu'il conviendrait de suivre : s'il existe pour moi une coupure entre un monde matériel, animal et un monde que je dirai éthique, proprement humain, cette coupure a pour corollaire l'impossibilité de fonder une loi morale dans la science.

1. Au moment où Ramón y Cajal développa ses techniques de coloration des neurones, c'était un problème technique que de départager les tenants de la continuité neuronale et ceux de l'individualité des neurones.

2. La plupart des gens relie la question des responsabilités éthiques personnelles à celle du sens de la vie. C'est une position qui mériterait d'être discutée (je l'évoquerai seulement à nouveau en conclusion). Il suffit, ici, de faire le constat de ce lien.

Cette position peut apparaître comme un écho inversé de la théologie chrétienne qui dans sa plus grande radicalité confond les expressions de « Loi naturelle » et de « Loi divine ». L'opposition disparaît, ou plutôt devient dépourvue de sens, si l'on considère que ces expressions ne s'appliquent qu'à la question éthique. Mais que dire du borbier logique où s'empêtrent ceux qui s'imaginent que parmi les objectifs de la bonne science doivent figurer des objectifs « politiques » ? Cette position les amène inévitablement à mêler inextricablement ou contradictoirement arguments scientifiques et arguments moraux voire basement moralisateurs³.

Existe-t-il une théorie générale en biologie ?

Membre — fort peu assidu, il est vrai — de la Société française de biologie théorique, j'ai gardé le souvenir non pas précis, mais plutôt impressionniste, de discussions concernant le statut de la biologie théorique vers le début de la création de la société. Pour certains, l'ambition de la biologie théorique se devait de rester modeste : il ne s'agissait que de propager par l'exemple l'idée que l'introduction de modèles mathématiques en biologie était à développer ; René Thom, par contre, appelait de ses vœux « une » théorie de la biologie et tonnait contre l'empirisme de bas étage des « hommes de la paille », oubliant au passage que le concept de gène, bien qu'il soit né des vulgaires petits pois était une construction si théorique que l'on désigne encore une branche de la génétique par l'expression de « génétique formelle » ; il y eut quelqu'un d'assez téméraire pour oser avancer l'idée qu'une nouvelle classe de nombres, par leurs propriétés, pourrait fournir la clef du mystère de la vie.

Avec le recul, il me semble que les discussions recouvraient

3. Ainsi défendre la thèse dite de l'« Ève Africaine » serait apporter sa pierre à l'édifice de l'idéologie raciste ! (C'est une chose que d'examiner les racines idéologiques des préférences accordées à une thèse, c'en est une autre de condamner une théorie pour les soutiens idéologiques qu'elle peut recevoir.)

deux classes de problèmes assez distincts :

— Affirmer que les théories en biologie ne peuvent être que « régionales » est-il seulement une invitation à une modestie dans la pratique quotidienne, qui correspondrait simplement à l'application dans le domaine de la recherche scientifique du proverbe « Qui trop embrasse mal étreint » ? Ou bien est-ce l'affirmation d'une hétérogénéité fondamentale du domaine de la biologie, soit « par nature », soit comme conséquence inévitable de modes de découpage du champ du vivant qui seraient largement arbitraires ? (Je laisserai cette question ouverte et n'y reviendrai pas.)

— Affirmer la possibilité d'une théorie biologique signifie-t-il que l'état actuel du monde vivant pourrait être reconstruit par déduction logique à partir d'un « noyau » de prémisses ? (J'ai le souvenir d'après des lectures anciennes de Thom que c'était sa position.) Au-delà de l'influence de sa personnalité, c'est un point de vue que l'on rencontre souvent et que je suis tenté de critiquer ironiquement en le qualifiant d'exigence impossible (à satisfaire).

L'exigence impossible a une double vertu :

— Celle de terroriser : l'exigible est toujours coupable (tant qu'il n'a pas satisfait à l'exigence, il est coupable...). Cette terreur que Lacan a si bien évoquée, dans *L'Éthique de la psychanalyse*, au sujet du commandement « Tu aimeras ton prochain comme toi-même » a en quelque sorte pour vocation d'être dévoyée du statut d'aiguillon éthique (« fais tout ce que tu peux pour satisfaire à l'exigence ») au statut d'interdiction de s'exprimer (« reste muet si tu ne satisfais pas à l'exigence »). C'est à cette dernière fin qu'elle est très souvent utilisée dans les sciences de la vie : Albert Jacquard a utilisé explicitement ce type d'argument pour interdire à priori tout débat sur l'hérédité de l'intelligence⁴; et l'on ne peut

4. « Il importe d'éviter tout détournement sincère ou intéressé de l'argumentation scientifique. Le cas est particulièrement net pour ce caractère mystérieux, indéfinissable qu'est l'"intelligence". En l'état actuel de nos connaissances, tout recours à des raisonnements impliquant la génétique serait, en ce domaine, un simple abus de confiance. » *Concepts en génétique des populations*, Masson, 1977, p. 36.

que rester confondu à considérer les exigences épistémologiques posées par des auteurs comme Lewontin à l'égard de ceux qu'ils combattent (surtout si l'on met en regard le laxisme dont ils font preuve à l'égard de leur propre production scientifique).

— Celle de tout permettre : le commandement « Tu aimeras ton prochain comme toi-même » étant évidemment impossible à satisfaire, la morale qui l'exprime est prête à beaucoup d'*indulgences* à l'égard des défailants. Le sociologue sera au plus haut point intéressé par la distribution inégale de ces indulgences. L'épistémologue devrait se dire que l'indulgence n'est pas plus uniformément répartie relativement à ceux qui ne savent pas proposer une théorie déductive sans faille de l'évolution de la vie : on ne pardonnera pas à ceux qui essaient de proposer une thèse « matérialiste » incomplètement satisfaisante (aspect terroriste) ; on sera d'une indulgence sans limite à ceux qui, prétextant des failles de l'explication scientifique déterministe, proposeront une interprétation « religieuse ». Pierre Paul Grassé, zoologiste d'une culture biologique probablement insurpassée de son temps, a parfaitement illustré cette dérive dans son ouvrage *L'Évolution du vivant*. Partant de prémisses que l'on serait tenté de décrire comme hyper-matérialistes, il en appelle en conclusion de son ouvrage à une biologie évolutive... qui laisserait tout le champ de l'explication à la métaphysique⁵.

Je suis persuadé que ceux que l'explication néo-darwiniste de l'évolution ne satisfait pas, ne sont insatisfaits qu'en tant que

5. « Faire appel à un mécanisme autre que mutatif et aléatoire [lire ici : "autre que la théorie néo-darwiniste classique"] s'impose à tout système prétendant expliquer l'évolution. C'est bien ce que comprennent les darwiniens réformateurs et les biologistes de tendance lamarckienne, d'où leurs recours à des facteurs internes. Les efforts conjugués de la paléontologie et de la biologie moléculaire, celle-ci débarrassée de ses dogmes, devraient aboutir à la découverte du mécanisme exact de l'évolution, sans peut-être nous révéler les causes de l'orientation des lignées, de la finalité des structures, des fonctions, des cycles vitaux. Il est possible que, dans ce domaine [mais que reste-t-il en dehors de celui-ci ?], la biologie, impuissante, cède la parole à la métaphysique. » (P. P. Grassé, *L'Évolution du vivant*, Albin Michel, 1973, p. 401.)

cette insatisfaction par rapport à une exigence impossible leur laisse le champ libre à des interprétations beaucoup moins exigeantes (du point de vue scientifique).

Ma propre position est qu'il existe une seule théorie générale en biologie⁶, la théorie néo-darwiniste de l'évolution. Mais cette théorie exclut toute possibilité de reconstitution de l'histoire de la vie par déduction logique parce qu'elle fait non seulement place à des événements aléatoires de caractère statistique, mais aussi à des événements historiques uniques (que je serais tenté de nommer « bifurcations » par allusion au terme des mathématiques du chaos). La théorie néo-darwiniste de l'évolution ne permet que des déductions locales, à travers l'application des principes de la génétique des populations à tel ou tel ensemble vivant. Par contre, elle fournit un cadre explicatif général qui permet de « donner sens » à telle ou telle particularité du monde vivant.

Réduite à son noyau, elle se contente d'affirmer que les êtres vivants doivent les traits qui les caractérisent à un processus d'évolution selon le principe d'engendrement de la variation entre générations successives à partir de la variabilité présente entre les individus qui composent chaque génération ; ce processus général se décompose en deux éléments essentiels : la sélection naturelle et la dérive génétique.

C'est un fait remarquable que le principe de la dérive génétique, exposé tout aussi clairement par Darwin (malgré son ignorance des lois de l'hérédité) que celui de sélection naturelle, soit resté si longtemps — et reste encore si souvent — ignoré ; sauf lorsque, rebaptisé « théorie neutraliste de l'évolution », il est utilisé — dans l'ignorance de sa signification profonde ! — comme arme de guerre contre la théorie néo-darwiniste de l'évolution.

6. Il existe certes un bon nombre de propositions générales, par exemple l'affirmation selon laquelle la « matière vivante » est composée des mêmes atomes que ceux du monde terrestre inorganique (ce qui était loin d'être une évidence au départ) ; mais elles ne s'articulent pas en une théorie générale.

La théorie néo-darwiniste de l'évolution transmet-elle la rage ?

« Qui veut noyer son chien l'accuse de rage », dit le proverbe. Lorsque le maître d'un chien en bonne santé veut le noyer sous l'accusation de rage, est-il vraiment utile de tenter de le persuader de renoncer à son projet avec des arguments scientifiques ?

Chacun sait que dans de tels cas le rendement de l'argumentation rationnelle est très faible — mais peut-être pas négligeable — et qu'il vaut peut-être mieux, si l'on veut sauver le chien, s'interroger sur les motivations profondes de son maître. Ce sera sûrement plus intéressant sur le plan intellectuel que de simplement donner les arguments vétérinaires en faveur de la bonne santé de la bête.

Mes fonctions d'enseignant m'obligent à répéter inlassablement les mêmes arguments pour réfuter un certain nombre de critiques à l'égard de la théorie néo-darwiniste de l'évolution, et je n'ai pas l'intention de les développer ici systématiquement ; je voudrais plutôt insister sur le caractère de « résistance » que prend l'argumentation anti-darwinienne, si on la considère dans sa globalité. J'entends ici le terme résistance en un sens qui fait écho à celui qu'il reçoit dans les textes psychanalytiques.

Cette résistance prend des formes extrêmement variées et souvent conflictuelles (par exemple, tel auteur critique la théorie parce qu'elle fait place à l'indéterminisme du hasard, tel autre parce qu'elle implique des déterminismes dépourvus de finalité). Et s'il est nécessaire de répondre sur le plan scientifique aux arguments avancés, point par point, l'expérience montre que, comme dans le cas du chien censé avoir la rage, le rendement de cette argumentation n'est pas très élevé et les retours en arrière très fréquents, tant dans les discussions individuelles que dans la presse scientifique et surtout, dans la presse de vulgarisation — le retentissement dans le public des critiques anti-darwiniennes est disproportionné relativement au nombre de chercheurs qui les font leurs.

J'interpréterai les failles de l'argumentation anti-darwinienne sous deux registres.

Le premier correspond à un certain manque de rigueur, trop facile à exploiter, de l'expression de la théorie elle-même. Bien des formulations hésitent entre la facilité de la métaphore approximative et les nécessités d'une expression spécifiquement scientifique. Malgré le très important travail d'éclaircissement épistémologique de Sober, bien des obscurités et des imprécisions subsistent, qui alimentent des interprétations mal fondées : par exemple, le concept de sélection naturelle est fondamentalement un concept statistique et, alors qu'il ne se réfère ni à une force extérieure à l'espèce, ni à un processus strictement intérieur, mais désigne un processus statistique de reproduction différentielle de diverses classes de génotypes, en règle générale inséparable de *l'interaction entre la diversité génétique dans l'espèce et les conditions écologiques*, il est très commode d'employer l'expression de « pression de sélection », comme si la sélection était le fait d'une puissance extérieure. La limite des dérives logiques permises par cette expression est atteinte lorsqu'un éminent écologue déclare que « l'espèce tend à fuir la sélection naturelle », comme si la sélection pouvait prendre la figure d'un brigand calabrais qui attend sa prochaine victime au tournant de la route ! Mais il est vrai que cette imagerie s'articule aussi sur l'expression de « cible de la sélection », bien commode pour désigner la nature des variations qui permettent le jeu de la sélection.

Le concept de « valeur adaptative » est entouré d'encore bien plus de malentendus qui ont été propagés par les meilleurs des grands théoriciens ; il me semble clair qu'il y a régulièrement une confusion entre le concept et l'expression du calcul qui lui correspond — un peu de la même façon dont, en mathématiques, il a fallu longtemps pour distinguer clairement le concept d'ensemble et celui d'élément : la coïncidence entre un ensemble et la représentation familière que nous en avons à partir de la connaissance des éléments qu'il renferme a été un obstacle à la clarté de la distinction. Si l'on retient que le concept de valeur adaptative est, par définition, un concept statistique et relatif qui sert à évaluer une classe génotypique relativement à une ou plusieurs autres, les innombrables déclarations selon lesquelles les individus cherchent à augmenter leur valeur

adaptative sont autant de non-sens épistémologiques ; mais elles appartiennent pourtant au langage quotidien des éthologistes néo-darwiniens.

Ce manque de rigueur, l'extrême facilité avec laquelle, ici où là, on évoquera avec emphase la « toute-puissance » de la sélection naturelle n'expliquent pas, selon moi, à elles seules la persistance d'erreurs grossières au regard de la théorie, et principalement celle qui consiste à croire qu'elle aurait vocation à tout expliquer par la seule sélection naturelle. Encore y faut-il une certaine surdité et une certaine complaisance.

La table ronde organisée par la revue AGONE m'en a donné encore un exemple stupéfiant lorsque, à la pause, un des intervenants m'a posé la question « Mais enfin, pourquoi veux-tu donc tout expliquer par la sélection ? », alors que j'avais insisté quelques instants auparavant sur l'existence des variations neutres.

Le second registre est celui des contradictions logiques ; elles sont bien plus édifiantes encore que cette exploitation des faiblesses de la théorie. Écartant l'idée que les failles logiques de l'argumentation anti-darwinienne puissent traduire une quelconque déficience intellectuelle, hypothèse risible à l'égard d'esprits scientifiques parmi les plus brillants et les plus rigoureux, je les interprète comme des *lapses* révélateurs de motivations étrangères à la logique du discours scientifique. Je me garderai cependant d'entreprendre ce qui pourrait apparaître comme l'équivalent sur ce terrain d'une psychanalyse sauvage, et resterai sur le seul terrain de la logique de l'argumentation. Ce n'est qu'en ce qui concerne la signification de la fréquence de ces *lapses* et leur succès médiatique, et non dans la recherche de motivations individuelles, que je chercherai à leur trouver un sens.

On ne s'étonnera pas que je choisisse mes exemples dans les écrits d'auteurs parmi les plus compétents et souvent les plus proches — même s'ils s'en défendent parfois — de ce qu'il est trop facilement convenu d'appeler l'orthodoxie néo-darwiniste. En effet, la lecture d'auteurs trop distants laisse toujours un malaise : qu'ont-ils

réellement compris ? N'est-il pas trop facile de les soupçonner de ne rien maîtriser de ce qu'il y a de fondamental dans la théorie ? Ou, au contraire, n'est-il pas absurde de mettre en évidence leurs contradictions logiques comme s'il y pouvait y avoir des contradictions au sein d'un magma informe de concepts mal assimilés ?

La contradiction est par contre indiscutable, lorsque François Jacob assure successivement — dans un texte publié par le quotidien *Le Monde* pour dénoncer la création aux États-Unis d'une « banque de sperme de prix Nobel » — que cette tentative « conduirait à produire des enfants où la proportion des imbéciles serait exactement la même que dans l'ensemble de la population » (ce qui sous-entend qu'il n'existe aucune variabilité génétique sous-jacente à l'expression des qualités intellectuelles censées révélées par le prix Nobel), puis, histoire de faire l'éloge de la diversité, explique soudain : « On oublie que si l'évolution a pu se faire, si nous sommes ici pour en parler, c'est à cause de l'extraordinaire diversité des individus. C'est parce que chacun d'entre nous, à l'exception des jumeaux vrais [il s'agit donc de diversité génétique !], est un individu unique. Car cette prodigieuse diversité est à la fois le résultat et le moteur de l'évolution biologique. Pour l'espèce humaine dans sa totalité, comme pour chaque ensemble national, elle constitue un atout considérable. C'est cette immense variété d'aptitudes physiques et mentales qui confère aux populations humaines leur plasticité et leur faculté de répondre aux défis changeants du milieu, qui leur donne leur potentiel d'adaptation et de création. »

Ainsi est-il théorisé successivement qu'il est impossible de procéder à une sélection génétique en vue d'une amélioration de certaines capacités mentales, puis que la diversité des aptitudes mentales — définies génétiquement — serait le bien le plus précieux.

Jacquard a formulé le même type de contradiction au sujet du fameux Q.I. Dans *L'Éloge de la différence*, il explique qu'il ne faut pas confondre instrument de pronostic et instrument de diagnostic : le Q.I., simple enregistreur de la réussite scolaire ne serait qu'un instrument de pronostic (plus ou moins fiable, sera-t-il expliqué plus loin, et l'on s'accordera facilement avec lui sur ce point), mais, ajoute Jacquard, il serait injuste de lui dénier toute autre

utilité ; ainsi est-il utile pour détecter ces enfants qui échouent à l'école bien que possédant un Q.I. satisfaisant !

Ainsi, le Q.I., qui permet de différencier les enfants en situation d'échec scolaire qui réalisent un bon score de ceux qui, dans la même situation d'échec en ont réalisé un mauvais, se trouve par enchantement promu à la dignité d'instrument de diagnostic. Le statut épistémologique du Q.I. changerait-il selon que l'on s'en sert pour aider ou pour enfoncer les personnes et les groupes ?

L'étonnante préface de Ruffié à *La Théorie neutraliste de l'évolution* de Kimura sera mon dernier exemple. Elle commence par souligner l'indissociabilité (la prétendue indissociabilité) du darwinisme et des idéologies qui s'en sont réclamé, en appelle à une séparation rigoureuse entre science et idéologie, et se termine par un éloge de la « sagesse orientale » (indissociable de la critique du darwinisme ?) que Kimura nous donnerait en leçon ! Il serait par ailleurs trop long de commenter en détail l'écart entre ce que dit Kimura (qui reconnaît la validité de l'explication par la sélection naturelle de ce que l'évolution a d'adaptatif) et la présentation qu'en fait Ruffié.

Le sens et la valeur de la vie

On aura sans doute remarqué que les deux premiers exemples de contradiction logique que je viens d'exposer se rapportent moins à la théorie néo-darwiniste elle-même qu'à la question des liens entre hérédité et capacités psychiques. Comme le souligne Jacquard lui-même dans la suite de son analyse de la signification du Q.I., parce que c'est bien là que le bât blesse : qu'en est-il du déterminisme de nos comportements ? Qu'en est-il des limites que la biologie imposerait à nos capacités ? Sur quelles bases jugeons-nous de la valeur que nous reconnaissons aux autres ou que nous nous reconnaissons nous-mêmes ?

Tout se passe comme s'il y avait une difficulté suprême à affronter ces questions sereinement. Comme si le sens (éthique) que nous attribuons à notre existence était en résonance avec le sens (la signification) que nous attribuons à la vie humaine comme aboutissement

d'une évolution biologique. Et là, la logique darwinienne peut apparaître comme une menace formidable : formidable pourvoyeuse de significations, elle échappe à donner tout sens éthique à la vie humaine, sauf à se réclamer des mécanismes qu'elle peut révéler pour prétendre — mais selon quel droit ? — s'en faire l'exécuteur forcené.

J'interprète les résistances à la logique darwinienne comme autant de faux-fuyants par lesquels, à bon compte, on échappe à cette évidence qu'il ne suffit pas de se déclarer anti-raciste ou de dénoncer le Q.I. pour avoir la garantie d'être dans une quelconque justesse éthique généralisée, et qu'aucune assurance à ce sujet ne saurait procéder de considérations scientifiques.

D'une sélection naturelle vers une évolution guidée par les contraintes

N'importe quel biologiste qui prend un peu de recul par rapport à son objet d'étude échappera difficilement à un sentiment de vertige devant l'incroyable diversité du vivant. Près d'un million et demi d'espèces ont déjà été décrites, depuis les bactéries jusqu'au chimpanzé en passant par le séquoia ; parmi les seuls acariens et nématodes, il resterait plus d'un million d'espèces à découvrir. Cependant, si la diversité, en tant que nombre d'espèces au sein d'un groupe, est la règle, elle n'est bien sûr pas sans limite et elle révèle même une faible *disparité* dans les plans fondamentaux d'organisation anatomique du vivant. Ces plans d'organisation correspondent aux embranchements des taxonomistes, qui en reconnaissent chez les animaux entre vingt et trente. Pour donner une idée de cette stéréotypie des types de formes vivantes actuelles, rappelons que près de 80 % des espèces animales sont des arthropodes et essentiellement des insectes, constitués eux-mêmes, pour plus de la moitié, par l'ordre des coléoptères. Au sein même d'un embranchement, la représentation des espèces dans un « espace

phénotypique » dont les axes correspondent à des traits mesurables caractéristiques du plan d'organisation, illustre astucieusement cette propriété. Ainsi, Raup a montré comment toutes les formes des coquilles de mollusques, de brachiopodes et de foraminifères peuvent être simulées par trois paramètres : le taux de croissance horizontale de la coquille, le taux de croissance verticale le long de l'axe d'enroulement de la coquille et la vitesse d'éloignement de la coquille par rapport à cet axe¹. Les mollusques bivalves et les brachiopodes ont deux coquilles qui se développent dans des directions opposées. La projection de toutes les espèces à coquille dans cet espace à trois dimensions montre des zones à très forte densité de points et de vastes zones inoccupées de formes potentielles.

Face à cette forte diversité et cette faible disparité, la biologie, qui se propose d'expliquer les propriétés du vivant, s'est progressivement subdivisée en un ensemble de disciplines plus ou moins connectées (les sciences de l'hérédité, la physiologie, l'embryologie, les sciences du comportement, la botanique, la systématique, la paléontologie, etc.), chacune analysant la phénoménologie du vivant à différentes échelles de temps et à différents niveaux de description. Cette organisation de la biologie, étroitement liée à notre vision hiérarchique du monde, s'est accompagnée d'une prolifération hétérogène de résultats scientifiques. Néanmoins, la classification des êtres vivants mentionnée précédemment rappelle que l'évolution, comme explication des rapports entre les organismes et de leur enchaînement au cours du temps, constitue un principe d'intelligibilité qui permet de relier entre eux tous les résultats disparates de la biologie et de leur donner ainsi une cohérence. Il découle également de ces remarques que la biologie peut être fondamentalement considérée comme une science historique. Car l'évolution du vivant, assimilable à la trajectoire d'un système dynamique, implique des changements irréversibles, c'est-à-dire qu'elle ne retrace jamais exactement la même séquence d'événements.

1. D. M. Raup, « Geometric analysis of shell coiling : general problems », in *J. Paleontol.*, 1966, 40 : 1178-1190.

L'histoire de la pensée évolutive a été dominée par trois types d'interprétation des propriétés du vivant. Le premier, le fonctionnalisme, attribue aux caractéristiques de l'organisme une utilité immédiate et mène logiquement à l'examen des avantages sélectifs des individus en termes de survie et de succès reproducteur. Le deuxième, l'historicisme, conduit à rechercher les connections entre les organismes et leurs formes ancestrales à partir de critères de ressemblance morphologiques et/ou génétiques. Le troisième, le structuralisme, interprète les propriétés des organismes comme des conséquences physiques de leur structure matérielle et se propose de définir des règles de structure (par exemple, des règles de symétrie).

Depuis Darwin, la théorie de l'évolution est fondamentalement fonctionnaliste. Dans le cadre du programme adaptationniste², qui occupe une part importante au sein de la théorie synthétique de l'évolution³, la sélection naturelle est considérée comme le facteur essentiel qui détermine l'évolution et qui conduit à l'adaptation des organismes à leur environnement local. De façon caricaturale, et pour utiliser une métaphore bien connue en biologie évolutive, l'évolution correspondrait, au sein du « paysage adaptatif⁴ », à

2. S. J. Gould & R. C. Lewontin, « The Spandrels of San Marco and the panglossian paradigm : a critique of the adaptationist programme », in *Proceedings of the Royal Society*, 1979, 205 : 581-598.

3. Le terme de « théorie synthétique de l'évolution » a été introduit par Julian Huxley en 1942 pour désigner une version moderne de la théorie de l'évolution : le néo-darwinisme. Il correspond à la synthèse de la génétique mendélienne et du darwinisme, qui signifie « évolution par sélection naturelle », c'est-à-dire par reproduction différentielle des différents types présents dans une population.

4. La métaphore du « paysage adaptatif » a été introduite dès 1932 par Sewall Wright (« The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution », in *Proceedings 6th International Congress on Genetics*, 1, 356) et le concept de « pic adaptatif » renvoie au théorème de Fisher, qualifié modestement par son auteur de « théorème fondamental de la sélection naturelle ». Une population d'une espèce se déplace dans l'espace des valeurs sélectives en réponse à des variations de son environnement. Le fait est que dans les cas relativement simples (un locus avec plusieurs allèles, ou pas d'épistasie sur la valeur sélective) et lorsque les valeurs sélectives sont constantes au cours du

l'ascension progressive du « mont *Fitness* ⁵ » qui mènerait, à terme, à son sommet. À l'opposé, les propriétés actuelles du vivant sont essentiellement expliquées par le rôle des structures des organismes et des événements survenus au cours de l'évolution. Ces facteurs causaux permettraient alors d'expliquer pourquoi certaines régions de « l'espace phénotypique » des mollusques et des foraminifères à coquilles et des brachiopodes sont occupées tandis que d'autres restent vides. À l'évidence, la formulation extrême de ces deux points de vue, qui attribuerait de façon exclusive les changements évolutifs à l'un ou à l'autre des processus causaux mentionnés précédemment, est difficilement défendable. En effet, si la nature adaptative de nombreux changements advenus au cours de l'évolution peut difficilement être mise en doute, toutes les directions évolutives ne peuvent pas être considérées comme équiprobables ou même possibles.

Une évolution guidée par les contraintes

Largement utilisé, et dans des cadres explicatifs différents, pour décrire la cause d'un changement quelconque et de la direction prise à la suite de ce changement, le concept de « contrainte » mérite d'être clairement défini. On l'utilise ainsi pour désigner l'ensemble des stratégies comportementales disponibles à l'animal, mais on parle aussi de « contraintes sélectives » pour l'étude de caractères adaptatifs, de « contraintes de développement » en référence aux phénomènes ontogénétiques, ou de « contraintes physiologiques » pour désigner des changements d'états physiologiques d'un individu. Il est clair qu'un usage aussi disparate prive ce terme de sens et le vide de son pouvoir explicatif ; ne pourrait-on pas en définitive décrire tout phénomène biologique comme la conséquence de contraintes ?

temps, la valeur sélective moyenne des individus de la population tend de façon monolone et asymptotique vers un maximum, qui correspond à un pic adaptatif dans la topographie de Wright.

5. La formule est de Lewontin, in *Nature*, 1989, 339 : 107.

Il s'avère donc nécessaire de lui attribuer un sens plus restreint. Ainsi, nous utiliserons la définition de Stearns, selon laquelle les contraintes sont les causes externes à un champ théorique, qui produisent des changements ou qui limitent l'étendue des changements possibles expliqués par cette théorie⁶. Une théorie est caractérisée par des causes canoniques qui déterminent sa logique et les modes de changements qui lui sont propres ; les autres causes de changements ou les limitations aux changements par les causes canoniques sont alors considérées comme des contraintes.

Ainsi, pour la théorie néo-darwinienne de l'évolution, les processus sélectifs seront les causes canoniques, tandis que l'on peut distinguer les contraintes historiques et structurales, dénommées également « locales » et « universelles »⁷, et souvent rassemblées sous le terme générique de « contraintes de développement ». Les contraintes historiques sont des conséquences particulières de contingences historiques ; elles sont « locales » en ce sens où elles sont spécifiques à certains groupes taxonomiques. Les contraintes structurales renvoient aux propriétés universelles de la matière et, en tant que telles, s'appliquent à tous les systèmes physiques, dont les organismes vivants. Il est clair que, dans un monde où existent des chauves-souris, les lois de la matière n'interdisent pas aux mammifères de voler ; mais aucun éléphant, dont l'histoire contingente a conduit, au cours de l'évolution, à une augmentation considérable de la taille de l'espèce, ne volera jamais. Cependant la limite entre les contraintes historiques et structurelles n'est pas stricte et, dans la pratique, il n'est pas toujours facile de les dissocier sans ambiguïté. Comment désigner, par exemple, les contraintes imposées par la structure physico-chimique de l'ADN ? Si tous les organismes vivants répondent au mode d'organisation du système acide nucléique-protéine, lui conférant ainsi un statut universel, ceci n'exclut pas

6. S. C. Stearns « Natural selection and fitness, adaptation and constraint », in D. M. Raup & D. Jablonski (eds), *Patterns and processes in the history of life*, Springer-Verlag, New York, 1986, p. 23-44.

7. J. Maynard Smith *et al.* « Developmental constraints and evolution », in *The Quarterly Review of Biology*, 1985, 60 : 265-287.

que la vie aurait pu, à la suite d'un événement contingent, se construire différemment.

Nous allons à présent illustrer nos propos à l'aide de trois exemples. Ils nous permettront ainsi de montrer comment les contraintes peuvent interagir avec les processus sélectifs pour générer les caractéristiques du vivant.

Un « rien que l'histoire » : le cas de *Cerion*.

Pour illustrer le rôle joué par les contraintes historiques, nous présentons un « effet de zone » mis en évidence de façon démonstrative par Gould et Woodruff chez l'escargot terrestre du genre *Cerion*, observé sur l'île de la Grande Inagua (sud-est des Bahamas)⁸. Depuis sa mise en évidence par Cain et Currey en 1963 chez l'escargot *Cepea nemoralis*, le phénomène d'effet de zone a été largement discuté d'un point de vue évolutif. Il correspond à une vaste zone aux limites bien définies, nettement plus grande que des unités panmictiques, occupées par des populations dont les fréquences de phénotypes et/ou les caractéristiques génétiques sont constantes et clairement distinctes des populations voisines. Cette distribution ne présente aucune relation apparente avec la variabilité des milieux, susceptible pourtant d'exercer des pressions de sélection différentes. En d'autres termes, l'« effet de zone » désigne une « anomalie » née d'une absence de concordance entre la distribution phénotypique et son environnement immédiat.

La forme typique des *Cerion* de l'île de la Grande Inagua se caractérise par une coquille blanche de grandes dimensions, plus ou moins lisse, et en forme de cône allongé. Ce morphotype « en pointe » montre, comme pour toutes les espèces de *Cerion*, des variations, continues sur l'étendue de son aire de répartition, qui portent sur les stries et la taille de la coquille. On observe cependant,

8. S. J. Gould & D. S. Woodruff, « History as a cause of area effects : an illustration from *Cerion* on Great Inagua, Bahamas », in *Biological Journal of the Linnean Society*, 1990, 40 : 67-98.

au sein de son aire de répartition, sur une zone bien délimitée (une bande de 3 à 5 km le long de la côte et large en moyenne de 750 m) et largement supérieure à une unité panmictique de *Cerion*, une forme dont les caractéristiques phénotypiques sont nettement en dehors de l'étendue des variations du morphotype classique : le sommet aplati, un aspect ramassé et un nombre limité de spires lui donnent un profil « carré ». Aucune relation n'a pu être établie entre ce morphotype et les caractéristiques des différents milieux occupés, ni avec les limites géographiques strictes entre les deux morphotypes.

Dans un premier temps, les analyses biométriques multifactorielles permettent d'identifier l'effet de zone, d'un point de vue morphologique, en dissociant clairement ces deux morphotypes. La différence entre les deux formes de *Cerion* résulte en fait d'une dynamique inverse de certains paramètres typiques de la croissance d'une coquille de *Cerion* et d'une contrainte structurelle banale (pour ne pas dire triviale⁹). En parallèle avec les études morphologiques, l'analyse par électrophorèse de la variabilité génétique selon la localisation

9. La croissance de *Cerion* se déroule selon trois phases allométriques. La première phase correspond à un développement de la coquille en forme de cône, suivie par un changement de direction (toujours entre la troisième et la sixième spire) plus ou moins brutale de la croissance, qui conduit à un allongement vertical de la coquille avec peu ou pas d'élargissement de celle-ci. La troisième phase allométrique se traduit par une rotation de l'axe d'enroulement juste avant la formation des bords de l'ouverture de la coquille. L'analyse biométrique des coquilles montre qu'il y a une interaction négative entre les deux premières phases de la croissance : une croissance initiale forte dans le sens de la hauteur implique une croissance modeste de la hauteur des dernières spires, et confère à la coquille une forme en triangle (profil en pointe et côtés de la coquille non parallèles) ; par contre, une croissance verticale initialement faible entraîne une augmentation du pas des dernières spires et conduit au morphotype « carré » (côtés de la coquille parallèles). La contrainte structurelle est relativement triviale : comme la taille de la coquille adulte est fixe, une augmentation du pas des spires entraîne nécessairement une diminution du nombre de spires. Cette interaction négative reflète simplement une propriété géométrique dans un espace tridimensionnel.

géographique révèle que certains allèles ne sont observés que dans la zone mise en évidence par l'analyse morphologique. Par ailleurs, des fossiles trouvés uniquement sur cette portion de l'île s'avèrent impossibles à distinguer, d'un point de vue morphologique, de la forme de *Cerion* localisée à l'Est de Cuba (à proximité de la Grande Inagua), et très proches du morphotype « carré ». La convergence des analyses biogéographiques, paléontologiques, morphologiques et génétiques ont conduit Gould et Woodruff à formuler l'hypothèse que cet effet de zone résulterait de l'hybridation de *Cerion* avec un isolat de la forme présente sur Cuba, introduit à la suite d'un ouragan sur l'île de la Grande Inagua (cette zone correspond à un couloir d'ouragans qui naissent à Cuba et qui balayent les îles des Bahamas). Par conséquent, la distribution phénotypique observée de *Cerion* sur la Grande Inagua trouve probablement son origine dans un phénomène historique fortuit, un événement contingent, un « rien que l'histoire¹⁰ », et non pas comme la conséquence directe d'avantages sélectifs de la forme « carrée » dans cette étroite zone côtière du nord de cette île des Bahamas.

Cette explication historique de l'effet de zone observé chez *Cerion* nous paraît d'autant plus plausible qu'elle fait référence à de nombreuses sources indépendantes qui concourent à déterminer ce phénomène particulier. Elle illustre comment cette méthode, qui consiste à coordonner les résultats disparates issus de différentes disciplines, permet de tester ce type d'explication.

Contraintes génétiques

L'introduction de contraintes génétiques dans les modèles phénotypiques issus de la théorie des jeux permet également de montrer l'importance de facteurs non-sélectifs dans l'explication de la dynamique évolutive d'une population. En effet, une approche largement répandue parmi les écologistes et les éthologistes qui étudient des traits phénotypiques, consiste à considérer que les

10. S. J. Gould, *Wonderful life*, 1989, Norton & Company.

phénotypes les plus aptes tendent inévitablement à envahir toute la population aux dépens des autres phénotypes, et cela jusqu'à ce que les différences de valeur sélectives entre phénotypes soient nulles ou qu'un phénotype remplace tous les autres. Ce raisonnement, basé sur l'examen des phénotypes, suppose donc qu'il y a une relation directe entre l'aptitude des traits impliqués dans la survie et la reproduction, et leur succès numérique au cours du temps.

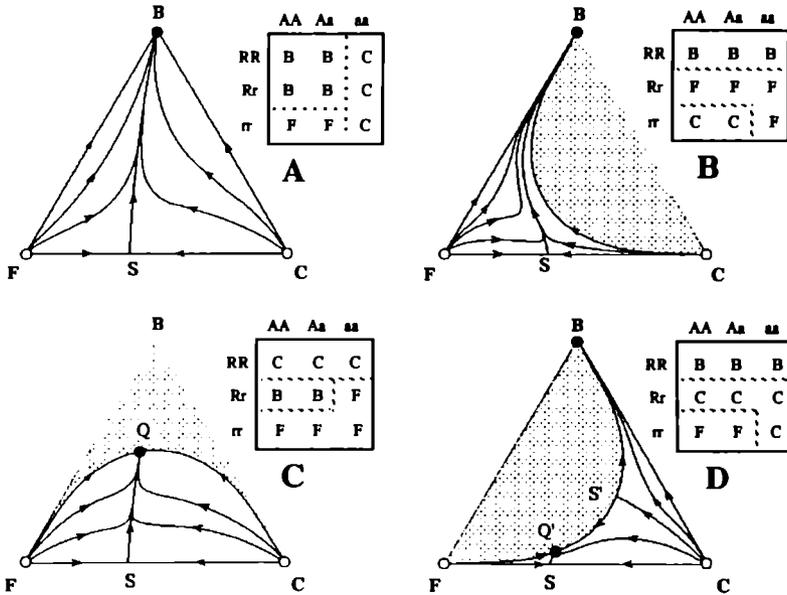


Figure 1. Exemples de dynamique pour le jeu Faucon-Colombe-Bourgeois pour différents déterminismes digéniques des différences entre stratégies (o = point de fuite ; • = attracteur ; S et S' = points-selle). Les zones grisées sont inaccessibles à la population du fait des conditions de panmixie et du déterminisme génétique. Le déterminisme génétique λ conduit à une dynamique identique à celle qui prévaut lorsque l'on suppose que chaque stratégie reproduit son propre type.

S'il est vrai que l'aptitude d'un trait pour la survie et la reproduction est un élément important d'une explication évolutive, il ne constitue pas néanmoins une explication suffisante et logiquement correcte. Considérons, par exemple, le jeu bien connu à trois stratégies « Bourgeois-Faucon-Colombe ». Ce type de modèle, dans la mesure où il suppose que chaque stratège reproduit son propre type, ne fait aucune hypothèse sur le déterminisme génétique des différences entre les stratégies présentes dans la population. Dans ce cas la dynamique conduit alors au terme du processus sélectif à une population composée de 100 % d'individus Bourgeois. Cependant, si l'on introduit l'hypothèse d'une reproduction sexuée, situation largement répandue dans le règne animal, et d'un déterminisme génique des différences entre stratégie qui portent sur deux gènes-deux allèles, alors la dynamique évolutive de la population peut être radicalement modifiée et ne conduit pas systématiquement à une population composée de 100 % d'individus Bourgeois. En effet, selon le déterminisme génétique choisi, certaines zones de l'espace des phénotypes sont inaccessibles à la dynamique évolutive (figures 1B, 1C & 1D). Dans ce cas, il peut exister des équilibres sélectifs alternatifs à 100 % de Bourgeois, cette composition n'étant pas systématiquement accessible (figure 1C). Cette diversité des équilibres sélectifs et des dynamiques évolutives montrent ainsi l'importance des contraintes génétiques sur l'évolution des populations. Si, dans les modèles phénotypiques, l'évolution est le résultat direct de la sélection naturelle, dans le cas de population diploïde à reproduction sexuée, la sélection naturelle est contrainte d'agir en fonction de ce qui est disponible.

Contraintes épigénétiques

Dans les processus évolutifs, la prise en compte des contraintes révèle également la difficulté de considérer isolément chaque trait phénotypique de l'organisme et de rechercher systématiquement une explication adaptative de leur origine et de leur maintien dans les populations actuelles. Cette approche (qui a sans doute disparu des colonnes des grandes revues scientifiques comme *Journal of Evolutionary Biology*, mais qui reste malgré tout très présente en

biologie évolutive), consiste à expliquer l'existence d'un trait phénotypique à partir de son utilité immédiate, déterminée par les avantages qu'il confère pour la survie et le succès reproducteur. Notre propos n'est pas de réexaminer les pièges et les erreurs de ce programme de recherche¹¹, mais plutôt de souligner à nouveau la nécessité de concevoir l'organisme comme une entité intégrée composée d'éléments interdépendants.

L'allométrie est la manifestation de systèmes de régulation qui assurent à l'organisme son intégrité. Parmi les nombreux exemples de relation allométrique entre différents éléments de l'organisme, on peut citer celle liant la taille corporelle et la dimension des bois ou des cornes chez les ruminants. L'existence de cette relation fait qu'il est difficile de savoir si, au cours de l'évolution, la sélection naturelle a porté à la fois sur la croissance de la taille corporelle et sur les appendices frontaux, ou simplement sur l'un des deux. Le problème se pose d'autant plus que pour certains groupes la relation allométrique a été modifiée, ce qui implique un découplage momentané de la relation entre la taille et les appendices frontaux à la naissance d'une lignée évolutive¹².

Dans le même ordre d'idées, les altérations de la chronologie du développement, ou hétérochronies, sont intéressantes à double titre. Elles montrent comment des modifications de la dynamique ontogénétique peuvent induire des changements évolutifs durables tout en soulignant le caractère unitaire d'un organisme. Les hétérochronies conduisent soit à une juvénilisation de tout ou partie des caractères, soit au contraire à des caractères hyperadultes par rapport à ceux de l'espèce ancestrale (figure 2)¹³. Par exemple, le phénomène de progénèse correspond à une maturation sexuelle

11. Cf. note 2.

12. La relation de croissance relative entre deux structures (x et y) peut souvent s'exprimer sous la forme : $y = bx^n$ (où n est le coefficient d'allométrie et b une constante). En passant aux logarithmes on obtient : $\log y = n \log x + \log b$, qui est l'équation d'une droite de pente n et d'ordonnée à l'origine $\log b$.

13. C. Devillers & J. Chaline, *La Théorie de l'évolution*, 1989, Bordas.

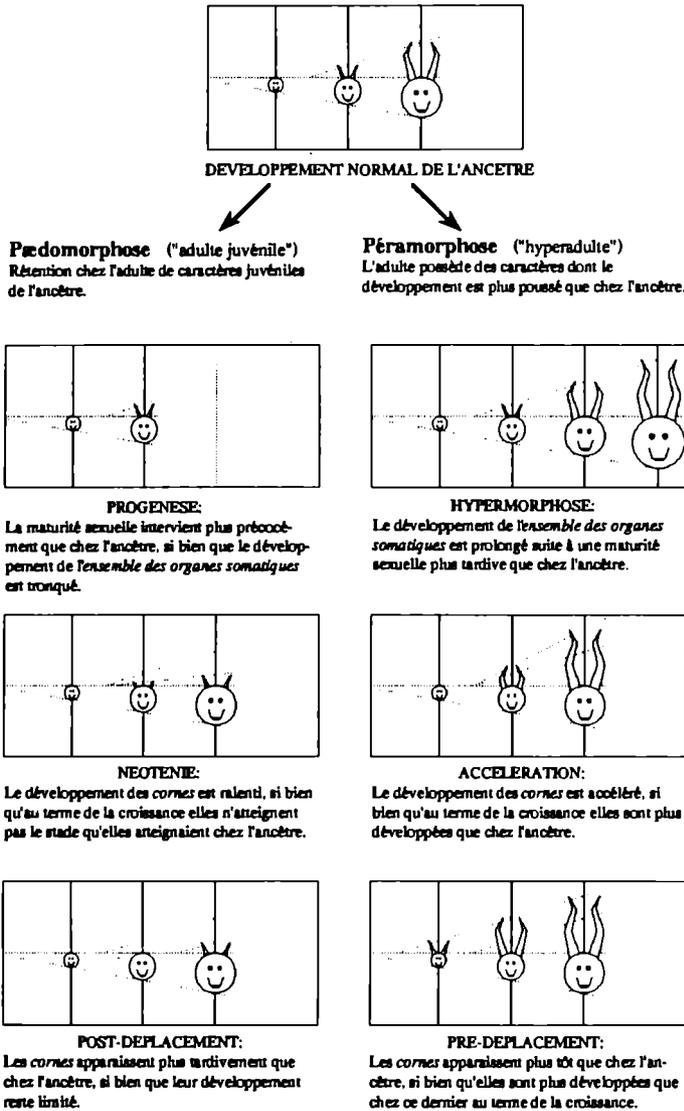


Figure 2. Hétérochronies de développement d'un animal fictif (d'après Devillers & Chaline 1989).

précoce qui bloque le développement ultérieur de l'ensemble de l'organisme et aboutit à des adultes ayant une forme et une taille juvéniles. La progénèse se manifeste chez des espèces de petite taille, qui vivent dans des environnements fluctuants où la densité des populations est faible et la compétition peu marquée. Elle résulte probablement d'une sélection de type r , qui agirait sur le processus de maturation sexuelle et entraînerait, chez la nouvelle espèce, un ensemble de caractères juvéniles interdépendants¹⁴. Il serait dans ce cas difficile d'essayer de trouver un aspect adaptatif à la juvénalisation de chacun de ces traits considérés séparément.

Une sélection naturelle qui n'optimise pas systématiquement la valeur sélective

La métaphore, par son puissant pouvoir évocateur, son didactisme, sa dimension à la fois pittoresque et concrète, est un procédé efficace souvent utilisé pour désigner des phénomènes complexes. Elle peut néanmoins constituer, au même titre que l'expérience première, les préjugés ou l'opinion générale, ce que Bachelard appelle un obstacle épistémologique, c'est-à-dire un frein à l'effort de rationalisation de la recherche scientifique¹⁵.

La métaphore du paysage adaptatif de Sewall Wright est encore très prégnante dans la pensée évolutive et constitue probablement le mode de représentation des phénomènes évolutifs le plus utilisé par les biologistes. Ainsi, l'évolution par mutation et sélection est assimilée à une lente et longue ascension au cours de laquelle le meilleur type se met progressivement en place, étape après étape¹⁶.

14. S. J. Gould, *Ontogeny and phylogeny*, 1977, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts.

15. G. Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, 1983, Vrin.

16. J. Maynard Smith, « Natural selection is a process analogous to hill-climbing, in which the best phenotype is reached by a series of steps, each step leading to a type that is fitter than the previous one », in *Evolutionary genetics*, 1989, Oxford University Press.

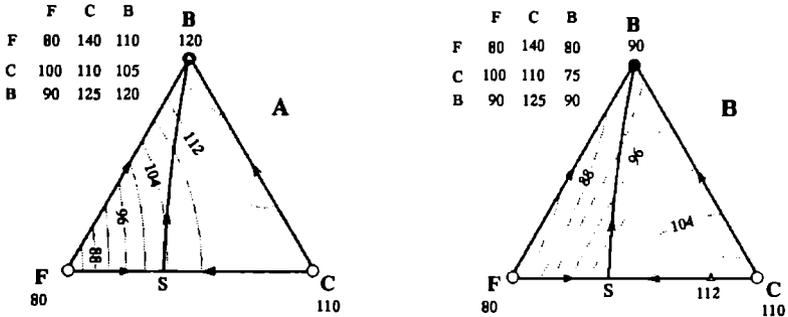


Figure 3. Flux des fréquences des stratégies et gradient de la *fitness* moyenne dans le jeu Faucon-Colombe-Bourgeois (o : point de fuite ; • : attracteur ; S : point-selle). (A) Jeu original (d'après Maynard Smith) : la *fitness* moyenne maximale est atteinte pour une population composée de 100 % de Bourgeois (SES). (B) Dynamique du jeu quand on soustrait la valeur 30 de la troisième colonne de la matrice des valeurs sélectives : la *fitness* moyenne pour 100 % de Bourgeois ne correspond plus au maximum, mais la dynamique est inchangée.

Au terme de ce processus, le pic adaptatif étant atteint, la population serait en équilibre, et sa constitution génotypique et phénotypique stable. Cette vision de la dynamique évolutive, renforcée par « l'approche économique » de la biologie fonctionnelle contemporaine, a conduit à définir la dynamique sélective comme un processus d'optimisation de la valeur adaptative des individus d'une population.

Deux situations seraient à distinguer. Dans le cas où les valeurs sélectives sont indépendantes de la fréquence des phénotypes présents dans la population, la sélection naturelle, qualifiée de sélection « fréquence-indépendante », est censée conduire à un « optimum unique¹⁷ » pour lequel la *fitness* moyenne de la population est maximisée. Dans le cas où la valeur sélective est dépendante de la fréquence des phénotypes (situation de la théorie des jeux évolutifs),

17. G. A. Parker & J. Maynard Smith, « Optimality theory in evolutionary biology », in *Nature*, 1990, 348 : 27-33.

la sélection « fréquence-dépendante » est censée conduire à un « optimum compétitif ¹⁸», dans le sens où une population qui se trouve à l'équilibre évolutif ne peut pas être envahie par un mutant.

Les modèles de sélection fréquence-indépendante furent les premiers à être développés. Ils permettent de calculer les variations des fréquences alléliques d'une population sous l'effet de la sélection naturelle. Lorsque le système génétique est simple (un gène et plusieurs allèles) ou lorsqu'il n'y a pas d'épistasie pour la valeur sélective, la dynamique évolutive conduit à un attracteur ponctuel stable qui correspond, conformément au théorème de Fischer, à la *fitness* moyenne maximale de la population. Dans ce cas, la métaphore de la topographie adaptative se justifie. Par contre, lorsque l'on considère un système génétique plus complexe, ne serait-ce que deux gènes à deux allèles, chacun avec interaction entre sélection et recombinaison des gènes à chaque génération, la dynamique évolutive ne conduit pas nécessairement à une maximisation de la valeur sélective et peut même conduire dans certains cas à un cycle limite ¹⁹.

À la suite des travaux de Zeeman ²⁰, il est clair que dans le cas de sélection fréquence-dépendante, la dynamique sélective ne correspond pas à un processus général de maximisation de la *fitness* moyenne d'une population. En effet, la dynamique d'un jeu évolutif est indépendante du gradient de la *fitness* moyenne de la population. Les deux exemples de la figure 3 montrent que dans le jeu Bourgeois-Faucon-Colombe, lorsque chaque stratège reproduit son propre type, l'équilibre sélectif pour une population composée de 100 % de Bourgeois ne correspond pas systématiquement à la valeur maximale de la *fitness* moyenne de la population. En outre, dans le cas d'une dynamique évolutive, qui peut conduire à un cycle limite,

18. *Ibid.*

19. E. Akin, « Cycling in simple genetic systems », in *J. Math. Biology*, 1982, 13 : 305-324.

20. E. C. Zeeman, « Dynamics of the evolution of animal conflicts », in *J. Math. Biology*, 1981, 89, 249-270.

la *fitness* changeant régulièrement de génération en génération remet en cause l'idée que la sélection naturelle tende à long terme vers un optimum (figure 4). Dans ce cas, un paysage adaptatif composé de pics et de creux ne convient plus. En réalité, la définition mathématique d'une « stratégie évolutivement stable » renvoie, en théorie des jeux évolutifs, à la notion de stabilité et non pas à l'optimisation d'une fonction mathématique de la *fitness*. Par conséquent, une population qui se trouve à l'équilibre évolutif sous l'effet d'une sélection fréquence-dépendante n'implique pas que la *fitness* des individus présents dans cette population, ou même la *fitness* moyenne, soit maximisée.

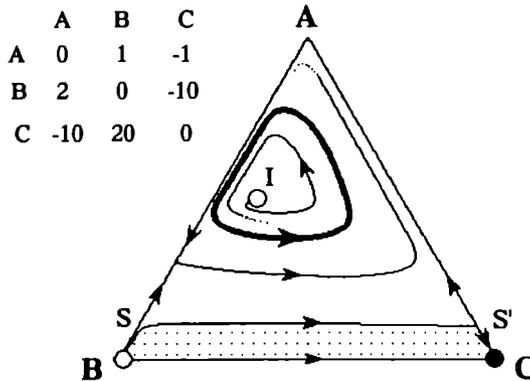


Figure 4. Exemple de jeu avec trois stratégies pures où la sélection naturelle conduit à un cycle limite ou un attracteur ponctuel (•) ; o : point de fuite, S et S' sont des points selle. Dans cet exemple les générations ne se recouvrent pas.

Pour conclure ce paragraphe, il semble donc que la définition axiomatique de la dynamique sélective comme processus général d'optimisation de la *fitness* moyenne d'une population et/ou de la valeur adaptative des individus d'une population ne se justifie

pas. Il est curieux cependant de constater que de nombreux évolutionnistes continuent d'invoquer le concept d'optimum pour désigner l'issue du processus évolutif, quitte à distinguer une « optimisation à deux vitesses » en référence aux deux types d'optimum mentionnés précédemment²¹. Cette définition générale trouve probablement son origine dans les premiers modèles mathématiques en génétique des populations, mais également et probablement de façon plus sournoise, dans la permanence de la métaphore du paysage adaptatif qui pourrait fausser, pour reprendre l'idée de Bachelard, notre perception de la dynamique évolutive.

Vers une approche pluraliste

Cette brève incursion dans le paysage de la biologie évolutive nous a conduit à relativiser le rôle de la sélection naturelle dans l'évolution des organismes vivants et à réexaminer certaines propriétés de la dynamique évolutive. La biologie évolutive voit fréquemment l'état présent du vivant comme un problème de physique classique, où les fréquences des unités de sélection (les réplicateurs) se déplacent essentiellement sous l'effet direct de forces sélectives qu'il s'agit d'identifier, de façon à maximiser leur valeur sélective dans un paysage adaptatif constitué de pics et de creux. Cependant, la prise en compte des contraintes comme causes de nouvelles histoires évolutives ou de la limitation du champ des possibles modifie notre conception d'une évolution du vivant exclusivement déterminée par la sélection naturelle et la dérive génétique. Au modèle du hasard et de la nécessité — hasard des mutations, nécessité des lois statistiques de la sélection naturelle — se profile alors une évolution du vivant comme résultat des interactions entre les contraintes historiques et structurelles, la sélection naturelle et la dérive génétique. Cette conception souligne le besoin de rechercher des causes qui s'étendent au-delà de notre compréhension des facteurs sélectifs

21. P.-Y. Quenette & J.-F. Gérard, « Does frequency-dependent selection optimize fitness ? », in *J. Theor. Biology*, 1992, in press.

présents. Mais elle renvoie également à un débat récent en biologie, qui porte sur le principe d'une causalité à deux niveaux indépendants, qui ressuscite de la sorte la vieille distinction théologique entre les causes ultimes et les causes immédiates. La causalité immédiate inclut les processus ontogénétiques et les mécanismes physiologiques et cognitifs, alors que la causalité ultime fait référence à la valeur adaptative présente pour expliquer les traits phénotypiques. Cependant, si les mécanismes de l'histoire des individus et ceux de l'évolution des populations d'une espèce sont différents, ils peuvent néanmoins interagir du fait des contraintes de développement. Ainsi, les faits expliqués à un niveau peuvent avoir des conséquences à l'autre niveau d'analyse. Ces deux types d'approche du vivant ne sont pas exclusifs, mais ils révèlent l'importance d'une approche pluraliste, d'ailleurs présente chez Darwin, dans la construction d'une théorie de l'évolution qui soit plus compatible avec la réalité biologique.

Petite généalogie de l'espèce

Le concept d'espèce occupe un rôle prééminent en biologie puisqu'il permet d'unifier l'ensemble des connaissances que l'on possède sur un être biologique particulier et d'affirmer que l'on a bien à faire à un type singulier et non à un autre. Appliqué au règne animal, ce concept équivaut à un véritable instrument de mesure. Dans le règne végétal, par contre, la diversité et la spécificité des systèmes génétiques des plantes supérieures ainsi que la variété des modes de reproduction apparaissent comme autant de facteurs limitant l'instrumentalité du concept.

Ernst Mayr et les deux domaines d'extension du concept d'espèce

Dans une publication récente, Ernst Mayr a opposé deux définitions de l'espèce :

— La définition typologique ou morphologique (*morphological or typological species concept*) qui désigne un certain écart phénotypique entre

deux groupes d'êtres, et dont l'énoncé est le suivant : « Une espèce peut être identifiée par une différence intrinsèque que reflète sa morphologie et qui la rend clairement différente de chacune et de toutes les autres espèces. » Le système des espèces se construit alors sur la base de différences et de similitudes directement observables, *i. e.* sur la base d'un appareil standard de description.

— La définition biologique (*biological species concept*) qui définit l'espèce comme une communauté interféconde de populations qui se trouve isolée reproductivement de toutes les autres communautés. Le système des espèces n'est plus ici organisé en fonction d'un appareil de description ; il est une conséquence des propriétés du vivant par la vertu des mécanismes de la reproduction ¹.

Nous allons montrer qu'il existe une opposition de fond entre ces deux définitions, que cette opposition tire ses origines de la constitution même des sciences naturelles et qu'elle aboutit à définir deux régimes de vérité distincts pour un même concept.

Un concept, deux origines

L'étude du contexte de formation des sciences naturelles nous révèle certaines des conditions de la partition conceptuelle évoquée par Mayr : alors que le concept typologique d'espèce trouve son origine dans l'histoire naturelle, le concept biologique d'espèce naît de la coupure épistémologique qui donne naissance à la biologie.

Jusqu'au milieu du xviii^e siècle, il existe des « histoires » qui ne séparent pas les êtres vivants de leurs références littéraires, mythiques, religieuses et magiques, et dont l'autorité repose sur quelques textes canoniques. À partir de l'âge classique, « l'histoire devient naturelle », nous dit Foucault, et son objet est la nomina-

1. « A local flora and the biological species concept », in *American Journal of Botany*, 79 (2) : 222-238

tion du visible². Il s'agit de porter un regard minutieux sur les choses et de transcrire l'observation en termes neutres et fidèles. La connaissance sensible des choses se limite presque exclusivement à la vue. L'ouïe, le goût et la saveur sont exclus du champ d'observation ; le toucher est limité à quelques oppositions évidentes et les couleurs sont jugées non pertinentes. Observer, c'est donc se contenter de voir et voir peu de choses mais des choses qui peuvent être analysées en éléments distincts et reconnus de tous. Tout le champ du visible est ramené à un système de variables dont toutes les valeurs peuvent être assorties d'une description claire et toujours finie. Il s'agit à la fois de désigner très précisément tous les êtres naturels et de les situer en même temps dans le système d'identités et de différences qui les rapproche et les distingue des autres.

À la fin du xvii^e siècle, l'organisation du monde vivant est représentée sous forme d'une hiérarchie à cinq niveaux : le règne, la classe, l'ordre, le genre et l'espèce. La variété et la race forment des sous-niveaux à part dont l'existence, nous dit Linné, tient « d'une cause accidentelle, due au climat, au terrain, aux vents ». Pour établir les coupures entre les classes, il est nécessaire de trouver le « caractère » qui permet de réunir l'ensemble des éléments visibles communs à certains individus et ce par quoi ils se distinguent des autres. Le caractère est le point d'articulation entre ce qu'on peut voir, nommer et classer. La part d'arbitraire qui intervient dans la définition même du caractère est jugée sans importance au regard de l'exigence qui vise à rejeter les traits accidentels de la structure d'un être pour ne conserver que l'essentiel de la forme. Pour Linné, l'essentiel d'une plante est ce qui lui est imposé par « la génération continuée des espèces ».

Le concept d'espèce naît ainsi, à la fin du xvii^e siècle, de la nécessité pour les naturalistes de fonder leurs classifications sur un réalisme des essences. Ce qui fait de l'espèce une catégorie privilégiée, ce n'est pas uniquement le fait qu'elle rend compte d'un degré de similitudes visuelles entre individus, mais bien davantage le fait qu'elle représente la permanence d'une identité à travers

2. Michel Foucault, *Les Mots et les Choses*, Gallimard, 1968.

les générations³.

Tout au long du XVIII^e siècle, les êtres vivants seront appréhendés comme des combinaisons de structures visibles, simultanées, sans rapport interne de subordination et sans préjugé d'organisation. Les processus de la génération n'auront pour fonction que de perpétuer l'ordre visible. L'objet d'étude privilégiée sera la plante, plus simple à détailler que l'animal, moins chargée de signes secrets. De là, nous dit Foucault, « la préséance épistémologique de la botanique : c'est que l'espace commun aux choses constituait pour les plantes une grille beaucoup plus accueillante, beaucoup moins noire que pour les animaux : dans la mesure où beaucoup d'organes constitutifs sont visibles sur la plante qui ne le sont pas chez les animaux, la connaissance taxinomique à partir de variables a été plus riche et plus cohérente dans l'ordre botanique que dans l'ordre zoologique⁴. »

À la fin du XVIII^e siècle, sous l'influence de Lamarck, le statut de la connaissance empirique se transforme peu à peu. L'observation, la comparaison, l'analyse tendent à s'exercer non plus seulement sur les éléments visibles qui composent les êtres vivants, mais sur les rapports internes qui s'établissent entre ces éléments. Le caractère classificateur n'est plus en rapport direct avec la structure visible mais se fonde sur l'existence de fonctions essentielles à l'être vivant ; sur des rapports d'importance qui ne relèvent plus seulement de la description mais d'un principe d'organisation. La hiérarchie des caractères n'est plus construite d'après une gradation arbitraire répondant aux seules exigences de la classification mais d'après le rôle joué par chacun des caractères dans la structure de l'organisme.

Les relations entre l'extérieur et l'intérieur d'un être, entre la surface et la profondeur, entre ce qui se voit et se cache, entre organes et fonctions, servent à définir une organisation qui devient, par là même, un élément de cohérence et de cohésion vitale des organismes.

Peu à peu se dégage l'objet d'une science qui étudie non plus

3. Sur cette question, cf. François Jacob, *La Logique du vivant*, Gallimard, 1970.

4. Michel Foucault, *op. cit.*, p. 149.

seulement l'ordre qui règne parmi les êtres vivants mais l'ordre inscrit au sein même de l'organisme et qui lui confère des propriétés singulières. Pour désigner cette science, Lamarck utilise le terme de biologie. Ainsi pourvue d'un nom et d'un objet d'étude, cette science nouvelle va remplacer progressivement l'histoire naturelle, dégageant ses concepts et ses techniques propres tout au long du XIX^e siècle. Plutôt que des différences de formes, de propriétés ou d'habitats, il s'agira de rechercher les caractères communs aux êtres vivants et de donner un contenu à ce qui désormais s'appelle la vie. Cette vie n'est plus saisie au moyen de notions taxonomiques, elle n'est plus ce qui se distingue d'une façon plus ou moins certaine du monde mécanique, elle est ce en quoi se fondent toutes les distinctions possibles entre les êtres vivants. Cette fois l'objet d'analyse privilégié sera l'animal qui, plus que la plante, objective le passage incessant de l'inorganique à l'organique par les fonctions de respiration, de digestion et la transformation inverse, de l'organique à l'inorganique, sous l'effet de la mort.

À partir du milieu du XIX^e siècle, l'organisation devient le véritable objet de la connaissance biologique ; il ne suffit plus de constater qu'elle sous-tend toutes les caractéristiques d'un individu, il faut chercher à en découvrir les fondements et les modes de fonctionnement. Cette rupture dans la pratique de la biologie marque un développement considérable dans la connaissance du vivant. En moins de vingt ans apparaissent la théorie cellulaire, la théorie de l'évolution, l'analyse chimique des grandes fonctions, la synthèse des principaux composés organiques et la théorie de l'hérédité. Les concepts, les méthodes, les objets d'étude qui se dégagent alors sont à la source de la biologie moderne et ne changeront guère au cours du siècle suivant. D'une science fondée exclusivement sur l'observation, les sciences naturelles deviennent une science expérimentale.

La biologie se divise alors en deux branches, possédant chacune son matériel et ses techniques. Dans un secteur, on continue d'analyser l'organisme en son entier, considéré soit comme un taxon soit comme le représentant d'une espèce ou d'une population. Cette biologie qui a peu de contact avec les autres sciences de la nature fonctionne avec les concepts de l'histoire naturelle. Elle continue à décrire la structure des êtres, les comportements, leur développement,

leurs interrelations, sans faire référence à la chimie, à la biochimie, à la génétique. Dans un autre secteur, au contraire, on commence par analyser les constituants de l'organisme. Pour faire cette biologie, il ne suffit plus d'observer les êtres vivants, il faut déclencher les phénomènes et déranger, par l'expérience, l'ordonnance de la nature.

Le passage de l'histoire naturelle à la biologie, dont nous avons vu qu'il procède d'une modification profonde des représentations du vivant, est responsable de la double origine du concept d'espèce.

La définition morphologique de l'espèce trouve sa source dans le savoir de l'histoire naturelle et non dans la biologie ; il repose sur l'à priori historique qui, au XVIII^e siècle, fonde les recherches ou les débats sur l'existence des genres, la stabilité des espèces, la transmission des caractères à travers les générations. Les procédés de réécriture qui ont modifié ce concept de l'âge classique à nos jours — le degré de différences des caractères structuraux chez Linné, traduit par Mayr en degré de différences phénotypiques — n'ont modifié que la nature des caractères classificateurs et non la valeur sémantique des concepts de classification. À la surface des choses se trouve toujours un caractère manifeste qui permet de les dénommer.

La définition biologique d'espèce est énoncé dans un savoir bien différent ; son centre n'est plus l'organisme, ni même les populations d'organismes, mais l'hérédité ; elle se réfère aux structures enfouies dans le noyau de la cellule car elles sont le lieu où se nouent les différences et se dénouent les ressemblances ; c'est de là aussi qu'émerge la nouveauté.

Les deux régimes de vérité du concept d'espèce

L'extension de la définition morphologique d'espèce se heurte à des difficultés d'ordre pratique ; pour qu'un caractère classificateur permette de distinguer deux espèces, il est nécessaire qu'il soit reconnu par tous. Or, pour certains genres réputés « difficiles », le nombre d'espèces qui s'y rapporte varie en fonction des taxonomistes. Ainsi, trois éminents botanistes se sont penchés au même moment

sur le genre *Rubus* d'Amérique du Nord ; L. H. Bailey a dénombré et dénommé 381 espèces, M. L. Fernald 205 et H. A. Gleason 24⁵. Cet exemple ne fait pas office d'exception ; il illustre bien la cécité intellectuelle qui plane sur le problème de l'arbitraire des critères de détermination et la difficulté à définir des éléments de description qui soient à la fois pertinents et évidents pour tous. En outre, plus la connaissance taxonomique s'étend et progresse, plus on constate que nombre d'espèces dans la nature sont porteuses de différences phénotypiques intraspécifiques frappantes ; ces variations, qui peuvent être causées par le sexe, l'âge, la saison, le biotope ou des altérations génétiques mineures, sont telles que des membres d'une même population peuvent présenter parfois des différences plus prononcées que des individus reconnus comme appartenant à deux espèces séparées. Inversement, dans beaucoup de groupes d'animaux et de plantes, on découvre des individus morphologiquement indiscernables qui coexistent au sein d'une même population, sans toutefois se croiser avec tous les autres et qui maintiennent ainsi l'intégrité de leur *pool* respectif de gènes. Ces deux cas de figure révèlent une certaine viscosité entre la variété morphologique des organismes et l'interfécondité, et la difficulté qui s'ensuit de trouver un caractère classificateur qui effectue un lien entre ces deux niveaux.

La définition biologique de l'espèce pose également certains problèmes d'application, plus aigus lorsqu'ils concernent les êtres appartenant au règne végétal. En premier lieu, parce que le contrôle de la reproduction s'avère d'autant plus incertain que l'on se rapproche des conditions naturelles ; ensuite, parce que la quantité et la dispersion du pollen libéré par une espèce sont des facteurs trop aléatoires qui empêchent l'observation et la mesure des trajectoires suivies par les grains de pollen et leur dépôt sur les stigmates, au sein des populations. Seule une étude en laboratoire, à partir de méthodes moléculaires sur des échantillons statistiques prélevés dans la nature, permet un contrôle partiel des échanges génétiques issus de la pollinisation.

5. Cf. Mayr, 1992, *op. cit.*

La perte partielle ou totale de la reproduction sexuée existe dans le règne animal, chez des groupes divers, mais reste limité aux insectes, aux poissons et aux lézards. Dans le règne végétal, elle se manifeste dans toutes les classes et dans la plupart des familles. La grande majorité des espèces est hermaphrodite et chaque individu possède à la fois les fonctions sexuelles mâle et femelle, ce qui permet l'autofécondation et limite la fécondation croisée. L'apomixie, qui correspond à la production d'un embryon à partir de la division normale d'une cellule, constitue également un mode de reproduction uniparentale répandue chez quelques groupes de végétaux supérieurs. Lorsque la reproduction asexuée devient le régime exclusif d'une espèce, elle conduit à un assemblage de clones dont les individus sont tous isolés reproductivement et n'échangent aucune information génétique. La définition biologique de l'espèce est alors inapplicable, sauf à appeler espèce ces produits de clonage.

Enfin, la polypléidie, qui correspond à une multiplication du nombre chromosomique, très rare dans le règne animal, est un phénomène très courant chez les végétaux (elle atteint 90 % chez les Ptéridophytes et 70 % chez les Angiospermes) et correspond le plus souvent à une absence de réduction des gamètes⁶.

On distingue deux types de polypléidies en fonction de l'origine de leur formation : les allopolypléidies qui sont issus du croisement de deux espèces éloignées ou proches et les autopolypléidies qui apparaissent par multiplication du même génome.

Les premiers ne posent pas de problème dans l'application du concept, même si le processus de spéciation qui leur a donné naissance est singulier ; la spéciation est complète et les rend semblables aux autres espèces⁷.

Les autopolypléidies qui sont produits dans les zones de contact entre deux écotypes ou deux races géographiques posent un

6. Cf. R. Verlaque & J. Contandriopoulos, « Analyse des variations chromosomiques en région méditerranéenne : polypléidie, différenciation et adaptation. », *Ecologia mediterranea*, 1990, XVI : 93-112.

7. Néanmoins, dans le cas où les croisements sont issus de deux espèces proches, la spéciation peut être incomplète, aboutissant à la formation de complexes

problème plus délicat ; ils se croisent assez rarement avec la forme parentale diploïde, souvent en raison de différences liées à la saison de floraison ou en raison d'autres mécanismes d'isolement, bien que la distance entre les niveaux de ploïdie reste encore proche. Comment, dès lors, définir le statut de ces populations ?

Il semble que la spéciation ait suffisamment œuvré pour qu'on puisse considérer ces populations comme des espèces nouvelles ; néanmoins, les changements morphologiques, physiologiques et écologiques ne semblent ni significatifs ni détectables et, dans ce cas il est difficile de justifier l'élaboration d'une taxonomie qui reflète uniquement un génome sur le point de se différencier.

Au fil de cet exposé nous est apparue toute la fragilité d'une notion que l'on manipule, en biologie, comme un authentique instrument de mesure et qui gage une partie de notre connaissance du vivant. Cette fragilité a un passé dont une part échoit au vieux rêve d'un système ptoléméen de la nature ; la définition typologique de l'espèce en hérite. Mais il est une autre fragilité, cette fois bien moderne, qui montre à quel point rien n'est immuable en science, et pas seulement les théories. Le concept d'espèce explose sous les coups d'une ingéniosité naturelle qui force nos représentations de la vie.

Qu'est-ce qui joue dans la nature : l'espèce, la population, l'individu, le gène ? Nous savons expliquer le fait que chacune de ces catégories peut valoir selon que l'on observe telle ou telle forme de vie, et nous commençons à admettre que la spéciation n'est pas une propriété universelle du vivant et, par conséquent, que l'espèce n'est pas un concept universel. Mais nous avons du mal à nous défaire des vieilles habitudes à nommer et à classer les êtres, et nous tirons rarement les bonnes conclusions lorsque nous touchons du doigt la résistance du vivant à être bien nommé. Nous pensons : « Mon vocabulaire manque de précision », et encore une fois, nous confondons les mots et les choses.

poliploïdiques composés de populations mal différenciées. Le concept d'espèce se révèle alors impropre à qualifier ces populations.

Le passage du non-vivant au vivant, à l'origine

Les origines de la vie : énigme ? mystère ? simple problème physico-chimique ? Cette question, qui dépasse largement le cadre strictement scientifique, a fait de tout temps l'objet d'un intense intérêt philosophique. À quel moment, de quelle manière et dans quelles conditions la vie a-t-elle pu apparaître ? Pourquoi trouve-t-on de la matière vivante sur la Terre ? Et pourquoi n'y aurait-il pas de vie sur d'autres planètes ? Autant de questions que l'humanité veut résoudre depuis des millénaires.

Les théologiens tentent depuis longtemps déjà d'imposer l'idée de la « création » par une (ou des) puissance(s) divine(s). Nous ne nous attarderons pas sur cette approche idéologique ; nous allons explorer simplement l'état de la recherche scientifique, vu en particulier sous l'angle de la biochimie.

Tous ceux qui ne croient pas aux miracles ou à une invasion précoce des extra-terrestres peuvent aujourd'hui se poser la question des origines en reconstituant les conditions réelles et plausibles de l'apparition de la vie sur terre. Il s'agit de rechercher des

traces, des conditions matérielles et physiques, susceptibles de restituer l'historicité de la vie depuis ses origines. Cette démarche a été rendu possible dès le début du siècle grâce aux travaux célèbres de Darwin¹, de Pasteur², et à ceux moins connus de Wölher³. Aujourd'hui, les biologistes et les chimistes de l'évolution moléculaire sont amenés à se poser les questions suivantes : comment est-on passé, sur la terre primitive, de la matière minérale à la matière organique simple ? Comment celle-ci a-t-elle pu évoluer pour donner les premières molécules douées de reproduction ? Et par quels types de réactions, les premiers chaînons métaboliques se sont-ils mis en place⁴ ?

Reconstituer les conditions primitives sur la terre

Pour les astrophysiciens, l'âge de l'univers, du *big-bang* à nos jours, est de quinze milliards d'années. L'analyse fine des météorites révèle que la terre s'est formée il y a quatre milliards et demi d'années par l'accrétion de matériel des nébuleuses solaires. Les plus anciennes roches sédimentaires actuellement connues ont été trouvées dans l'ouest du Groenland et sont datées de trois milliards huit cents millions d'années. Ces sédiments renferment des molécules de carbone que les géochimistes reconnaissent d'origine biologique.

Les conditions qui régnaient alors étaient bien sûr très différentes de celles que nous connaissons aujourd'hui ; pourtant, la plupart des molécules capables de réagir pour donner les molécules du

1. Darwin, *De l'origine des espèces*, Schleicher, Paris, 1859.

2. Pasteur, *Comptes rendus*, Académie des sciences, 1860.

3. Wölher montra, dès 1828, comment l'on peut passer de la matière minérale à la matière organique : en chauffant un composé solide du cyanate d'ammonium, il obtint une molécule organique très répandue : l'urée.

4. Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques coordonnées qui se déroulent dans la cellule. Ces transformations sont facilitées et accélérées par des catalyseurs appelés enzymes.

vivant étaient déjà présentes dans l'atmosphère primitive. Des données concernant le milieu physique nous sont fournies par la connaissance des atmosphères des autres planètes du système solaire. L'atmosphère primitive s'est formée après le refroidissement de la planète grâce au volcanisme et par dégazage progressif de la croûte et du manteau. Selon une des hypothèses admises, l'atmosphère produite alors est constituée d'azote, de vapeur d'eau, de gaz oxydés riches en mono-oxyde de carbone, en dioxyde de carbone, en dioxyde de soufre et contient des traces de méthane, mais pas d'oxygène libre.

Il faut dire qu'il y a quatre milliards d'années, le soleil dispensait seulement 75 % de l'énergie actuelle. Ce déficit énergétique aurait dû entraîner une glaciation de la terre. Seule la présence d'une grande quantité de gaz carbonique créant un effet de serre a permis le maintien de l'eau sous sa forme liquide. En effet, pour que la vie puisse s'installer, la présence d'eau liquide est indispensable, et la terre est la seule planète du système solaire où l'on trouve de l'eau liquide.

À partir des molécules présentes dans cette atmosphère et sous l'influence d'une source d'énergie — activité volcanique, lumière ultraviolette et décharges électriques —, des composés organiques ont pu se former. C'est cette voie, étudiée expérimentalement ces dernières années, qui constitue ce que l'on appelle la « chimie prébiotique ». De nombreuses simulations d'atmosphères de différentes compositions permettent de retrouver certaines de ces molécules du vivant.

Le pionnier dans ce domaine fut Stanley Miller. En 1953, il soumit un mélange de méthane, d'ammoniaque, d'hydrogène et d'eau à l'action d'une décharge électrique, et obtint ainsi des composés organiques majeurs : l'acide cyanhydrique HCN et le formaldéhyde HCHO. Ces composés sont solubles dans l'eau et capables de se combiner entre eux pour donner ces molécules organiques décisives, ces « briques élémentaires du vivant » : les acides aminés, les bases et les sucres.

Oparin en 1924, Haldane en 1929, puis Fox en 1964, proposent l'idée que ces composés ont formé, en se déposant dans les océans, une « soupe prébiotique ». Condensés en « coacervats » ou « protocellules », ils auraient été ensuite capables de se reproduire

pour donner naissance à la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui. Bien entendu, ce scénario a suscité un très grand nombre de travaux expérimentaux. D'autres hypothèses ont alors émergé, en particulier concernant le rôle des surfaces minérales au cours du processus naissant.

Dans les années 1970, en accord avec les idées développées par Desmond Bernal en 1949, Katchalsky réalise les premières expériences sur le rôle possible des argiles dans les processus prébiotiques. Désormais, il semble probable que la vie soit apparue non pas dans les océans mais en bordure des mers ou des lacs. Des argiles auraient pu favoriser les rencontres et les concentrations de molécules organiques toutes prêtes à se lier entre elles. À partir de ces travaux, Graham Cairns-Smith développe en 1982 la théorie de l'évolution par « usurpation » (*take-over*). Les premiers « organismes » seraient de nature totalement différente de ceux que nous connaissons aujourd'hui. Ce matériel — géochimique et non pas biochimique — aurait pu créer les conditions favorables à l'apparition d'un organisme nouveau qui l'aurait supplanté. Cette théorie s'oppose ainsi à la conception selon laquelle les molécules de départ se transforment de manière continue et progressive au cours de l'évolution moléculaire primitive.

Peut-on retrouver les étapes clés de la vie originelle à la lumière du fonctionnement de nos cellules vivantes ?

On trouve, dans les cellules d'aujourd'hui, deux grandes classes de molécules : les acides nucléiques (ADN et ARN ⁵), responsables de la **reproduction** ; et les protéines, responsables de la **catalyse**, c'est-à-dire de la mise en place et du fonctionnement du métabolisme.

Le motif de base d'un acide nucléique est un nucléotide. Chaque nucléotide se compose d'une base purique ou d'une base pyrimidique ⁶.

5. ADN : acide désoxyribonucléique constituant des gènes. ARN : acide ribonucléique transportant le message génétique dans la cellule.

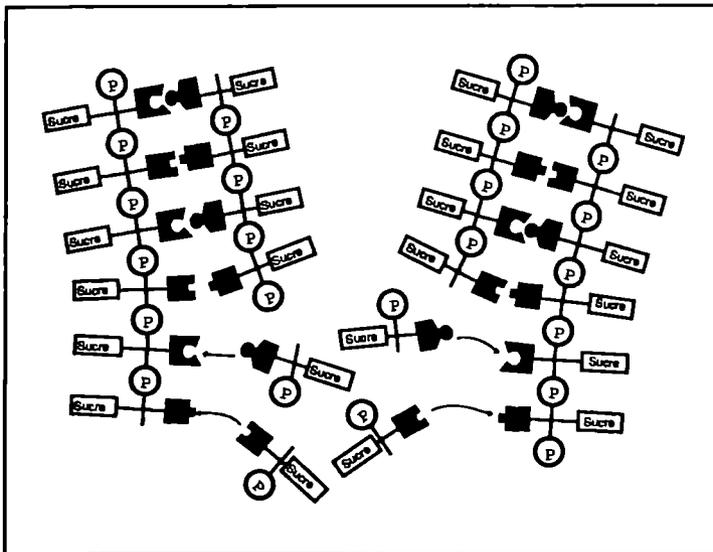
6. Base purique : adénine (A) ou guanine (G) ; base pyrimidique : cytosine (C)

La base est liée à un sucre, le ribose pour l'ARN et le désoxyribose pour l'ADN. L'ensemble, appelé nucléoside, est lui-même lié à un acide phosphorique. Liés les uns aux autres, les nucléotides forment les brins d'ARN ou d'ADN. Deux brins s'associent tête-bêche en une double hélice flexible, maintenue par des liaisons faibles (appariements) que les bases contractent entre elles. La séquence d'un brin est complémentaire de la séquence du brin correspondant, c'est-à-dire qu'une purine se trouve toujours en face d'une pyrimidine. Lorsque les acides nucléiques se répliquent, les deux brins complémentaires se séparent et chaque brin sert de matrice pour la mise en place de la nouvelle chaîne croissante. Chaque brin régénère un nouveau brin : c'est ainsi que se transmet l'information génétique (*cf.* figure page suivante). Ce système très perfectionné, qui ne tolère pas l'erreur, nécessite pour fonctionner l'intervention d'une batterie d'outils, des enzymes très spécifiques, qui coupent, collent et corrigent...

Les protéines sont, elles, constituées par l'assemblage d'une vingtaine au moins d'acides aminés différents. La composition d'une protéine est dictée par la séquence des différentes bases (A, T, G, C) des acides nucléiques. Ce système de correspondance moléculaire entre bases et acides aminés constitue le « code génétique ».

Pour que la vie s'installe sur la terre, il a fallu que des molécules porteuses d'une information se répliquent, c'est-à-dire transmettent cette information d'une génération à la suivante. Comme on vient de le voir, les acides nucléiques sont les seules molécules informationnelles capables de se reproduire. Une des étapes clés de l'apparition de la vie sur terre a donc été la réplication d'acides nucléiques primitifs par un processus simple, peut-être « automatique » et sans aucun doute bien moins compliqué que celui qui a lieu aujourd'hui dans nos cellules. Ce processus s'appelle l'« auto-réplication ». De nombreux travaux expérimentaux et théoriques ont eu lieu dans ce domaine (en particulier dans le laboratoire de

ou uracile (U), pour l'ARN, et thymine (T), pour l'ADN. A, G, C et T sont les bases du code génétique.



-  A et  G sont les bases puriques
 C et  T sont les bases pyrimidiques
 P: acide phosphorique

Représentation schématique du mécanisme de répliation de l'information génétique.

Leslie Orgel en Californie). À partir des résultats acquis, il est clair que l'objectif des chimistes du prébiotique est, pour les dix années à venir, de découvrir le système auto-répliatif de molécules « primitives » capables de stocker l'information (l'équivalent de notre « message » génétique) et de la transmettre.

Enfin, on a longtemps pensé qu'il y avait une séparation complète dans la cellule entre les acides nucléiques et les protéines. La découverte d'activités catalytiques dans les ARN, qui a valu le prix Nobel de chimie à Thomas Cech et Sidney Altman en 1989, est venue bouleverser cette idée. L'ARN est maintenant la seule molécule connue qui puisse être à la fois informationnelle et catalytique, ce qui soulève la question des premiers catalyseurs utilisés aux origines de la vie. Cette découverte permet d'imaginer que, sur la terre primitive, des molécules, apparentées à nos acides nucléiques, possédaient les deux atouts indispensables pour conquérir la terre. Ces pionnières sont les héroïnes du « monde de l'ARN » (le *RNA world* des Anglo-Saxons), dont le destin est pour l'instant largement dominé par la technologie des ribozymes⁷.

7. Ribozyme : nom biochimique donné à l'ARN doué d'activité catalytique. Ce type de molécule possède un grand avenir dans le domaine des médicaments antiviraux et des biotechnologies. Un article leur est consacré dans *La Recherche*, octobre 1992, n° 23) ; pour en savoir plus sur les origines de la vie, on pourra également consulter :

René Buvet, *L'Origine des êtres vivants et des processus biologiques*, Masson, 1974.

Jacques Ninio, *Approches moléculaires de l'évolution*, Masson, 1979.

André Brack & François Raulin, *L'Évolution chimique et les origines de la vie*, Masson, 1991.

Chronique d'une vie artificielle

Le canard de Vaucanson, cet automate légendaire construit vers 1740 et dont les exploits sont rapportés par Chapuis et Droz¹, était capable de boire, de manger, d'émettre des « coin-coin », de plonger dans l'eau et même de digérer sa nourriture — apparemment. Mais, pour en constituer une reproduction trompeuse, était-il pour autant vivant ? Le but avoué et ultime de son inventeur était de le faire passer pour un véritable canard, en utilisant pour sa conception les techniques les plus avancées de l'époque, mécanismes d'horlogerie et autres rouages de précision.

Dans un esprit très similaire, « la vie artificielle » est un champ de recherches renaissant et exotique, rassemblant des disciplines variées — biologie, sciences cognitives, informatique théorique et appliquée, chimie, physique, mathématiques — et qui s'attache, en utilisant les techniques les plus avancées d'aujourd'hui, à reproduire

1. Cf. *Automata : a historical and technological study*, trans. A Reid, London, B.T. Batsford Ltd., 1958.

de façon aussi fidèle que possible certains aspects du vivant. Ses ambitions scientifiques sont clairement affichées : elle se propose d'étudier et de comprendre le vivant, en essayant d'une part d'abstraire *les principes dynamiques fondamentaux* qui gouvernent les phénomènes biologiques, et d'autre part de *synthétiser* des organismes ou systèmes artificiels dotés de propriétés vivantes. Dans cette approche, la vie est considérée comme une propriété de *l'organisation* de la matière, et non comme une propriété de *la matière* elle-même. Alors que la biologie s'est traditionnellement intéressée à l'étude des *bases matérielles* de la vie, la vie artificielle se concentre sur ses *bases formelles*. De plus, offrant la possibilité d'étudier bien plus que la vie telle qu'elle a évolué sur la Terre, la vie artificielle se prétend un complément des disciplines classiques de la biologie : elle permet de s'intéresser à la notion plus englobante de « vie-telle-qu'elle-pourrait-être ».

Un tel programme, avec de telles ambitions, pose un grand nombre de problèmes — mais passionne. En particulier, s'agissant de créer des comportements qui miment le vivant, sans autre souci que celui de la ressemblance purement phénoménale, le statut explicatif des simulations (nombreuses), des modèles (moins nombreux) et des théories (rares) proposés par la vie artificielle est difficile à définir. Au-delà des déclarations d'intention(s) aux bases plutôt friables — comme nous allons le montrer —, la question reste de savoir de quoi la vie artificielle veut rendre compte, et sur quelles bases plus ou moins scientifiques ce projet a pu s'établir. Les théories de l'émergence — si elles existent — en constituant à la fois le moteur et le but, nous expliciterons les mécanismes généraux sur lesquels reposent la plupart des simulations, modèles et théories de la vie artificielle. Enfin, nous verrons que dans sa configuration actuelle, la vie artificielle a bien peu de chances de subsister : une mort naturelle l'attend si les chercheurs qui s'en réclament ne prennent pas conscience de l'ambiguïté de son programme et du danger pour une science du vivant d'être à la fois réductionniste et synthétique.

Le projet de la vie artificielle

La vie artificielle est l'étude de systèmes construits par l'homme qui manifestent des comportements caractéristiques des systèmes vivants naturels. Elle complète ainsi les sciences biologiques traditionnelles qui s'intéressent à l'analyse des organismes vivants, en essayant de synthétiser des comportements vivants au moyen d'ordinateurs et d'autres dispositifs artificiels. En élargissant les fondations empiriques sur lesquelles repose la biologie, au-delà de la vie telle qu'elle a évolué sur la Terre, basée sur la chimie de chaîne carbonée, la vie artificielle peut contribuer à la biologie théorique en situant la vie-telle-que-nous-la-connaissons dans le contexte plus large de la vie-telle-qu'elle-pourrait-être².

C'est ainsi que Chris Langton, considéré comme l'instigateur moderne de ce domaine, introduisait le concept de « vie artificielle » en ouverture du congrès fondateur, en 1987, à Santa Fe. L'ambition principale de la vie artificielle serait donc de synthétiser des comportements vivants, sans restreindre le champ d'investigations à la vie telle que nous la connaissons, mais au contraire en étendant les recherches en direction de n'importe quelle forme de vie : de « la-vie-telle-qu'elle-pourrait-être ». La forme de vie qui a évolué sur terre n'étant plus alors que l'une des voies possibles d'une classe de systèmes beaucoup plus large.

La même ambition sera affichée lors du second colloque, tenu en 1989, mais agrémentée cette fois de précisions sur les visées scientifiques³. Le projet de la vie artificielle est alors clairement situé sur une échelle « fonctionnaliste » : la vie y est considérée comme une *fonction* ou un ensemble de fonctions qui peuvent être étudiées d'une manière abstraite, sans se soucier du système matériel qui les implémente. D'autre part, la méthode centrale d'étude consistant à synthétiser, sa stratégie de recherche préfère la *synthèse fonctionnelle* à l'analyse fonctionnelle. Le vivant est considéré comme un processus physique dynamique et, à ce titre, peut être en principe implémenté

2. C. Langton (ed), *Artificial life*, Addison-Wesley, 1989.

3. C. Langton et al. (eds), *Artificial life II*, Addison-Wesley, 1992.

dans n'importe quel système matériel — à condition toutefois que ses parties soient organisées dans l'espace et dans le temps selon certaines lois. Des lois que s'attache à déterminer la vie artificielle, apportant ainsi une sorte de complément formel à la biologie.

Formelle et synthétique, dans sa quête des processus fondamentaux du vivant, la vie artificielle adopte une démarche inverse de celle de la biologie. En effet, cette dernière considère traditionnellement les organismes vivants comme un emboîtement hiérarchique de niveaux d'organisation, et procède de manière *analytique* : des organes aux tissus, puis aux cellules, aux organelles, aux membranes et enfin aux molécules. La vie artificielle considère au contraire l'organisme vivant comme un ensemble de machines simples, d'éléments en interaction les uns avec les autres et avec leur environnement local immédiat ; le concept clé de la vie artificielle étant celui de « comportement émergent » : la vie est considérée comme un processus émergent né de l'organisation des interactions d'un grand nombre de molécules non vivantes sans qu'il existe un contrôleur global responsable du comportement de chacune des parties.

Nous pouvons donc discerner deux objectifs fondamentaux dans le projet de la vie artificielle : le premier est de rendre compte de certains aspects du fonctionnement des systèmes vivants au moyen de modèles et de simulations sur ordinateur, dont la caractéristique essentielle réside dans leur nature distribuée et fondamentalement parallèle. Le second objectif a trait à la réalisation de systèmes et à l'exploration des propriétés et comportements que ces systèmes manifestent lorsqu'on modifie les paramètres et les conditions environnementales. Ces deux objectifs visent, dans leur principe, des objets radicalement différents mais font appel à la même méthodologie de base, que l'on retrouve aussi bien dans la construction de modèles du vivant que dans la réalisation de systèmes artificiels. Cette méthodologie est fondée sur la synthèse de systèmes constitués d'éléments en interaction les uns avec les autres et avec leur environnement local immédiat. Les objets ainsi constitués reposent sur l'émergence de propriétés nouvelles à un niveau d'organisation supérieur à celui des éléments de base constituant le système.

La morphogenèse algorithmique des plantes

Les systèmes de Lyndenmayer, ou *L-systems*, consistent en un ensemble de règles qui agissent sur des chaînes de symboles pour les modifier. Lyndenmayer utilisa ce type de grammaire pour modéliser la croissance et le développement des plantes. Considérons une plante constituée de deux types de cellules différant par la taille et la rapidité à se diviser. Chaque cellule est représentée par un symbole *a* ou *b*. Le développement de la plante est produit par les deux règles R1 et R2 suivantes :

R1 : une cellule *a* au temps *t* produit deux cellules *ab* au temps $t+1$.

R2 : une cellule *b* au temps *t* se transforme en cellule *a* au temps $t+1$.

Le processus débute avec une chaîne constituée de deux symboles *ab*. Au temps $t+1$, la chaîne devient *aba*, puis *abaab* à $t+2$, et enfin *abaababa* au temps $t+3$. Les structures produites à partir de l'application récursive de ce type de règle simple de réécriture locale peuvent être extrêmement complexes. Pour rendre compte de l'arborescence des plantes, les *L-systems* utilisent des symboles représentant des points de branchement : par exemple, $[+]$ signifie un branchement à droite par rapport à la tige principale.

Ainsi, la figure 1a présente la structure obtenue en itérant quatre fois la règle $(F[+F]F[-F])$ et en appliquant celle-ci à un germe initial constitué d'une tige unique *F* (cette règle ne tient pas compte du contexte dans lequel se trouve le symbole ou l'objet sur lequel elle agit). On peut de la même manière construire des règles qui seront sensibles au contexte, les objets produits révèlent alors une complexité beaucoup plus importante — comme nous le verrons en examinant les automates cellulaires. À chaque étape, chaque symbole considère donc ses voisins immédiats puis applique une règle spécifique pour déterminer quel symbole le remplacera à l'issue de l'opération. Les figures 1c et 1d présentent des exemples d'architectures de plantes que l'on peut produire avec de telles règles.

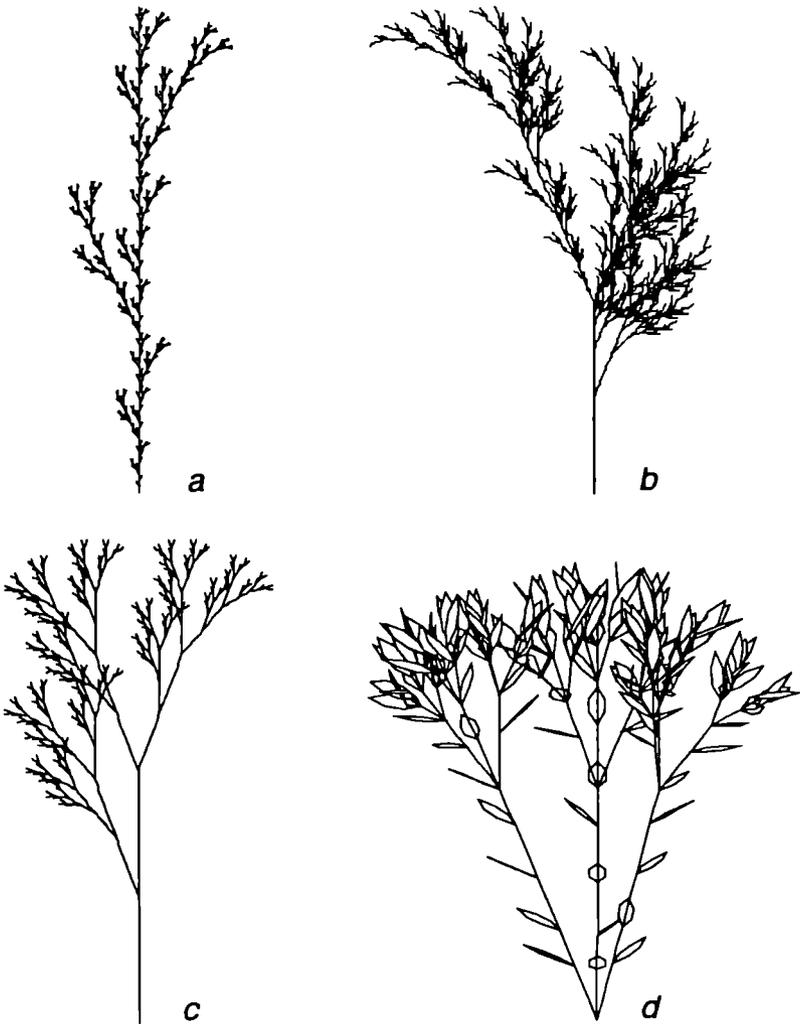


Figure 1. Structures de plantes générées en utilisant les systèmes de Lindenmayer.
1a & *1b* : règles indépendantes du contexte local de leur application.
1c & *1d* : règles dépendantes du contexte local de leur application.

Des automates cellulaires auto-reproducteurs

Les automates cellulaires sont des réseaux de cellules à une, deux trois ou n dimensions. Dans un automate cellulaire, le temps et l'espace sont représentés de manière discrète. Chacune des cellules contient un automate à états finis qui calcule son état en fonction d'un voisinage : par exemple, ses deux cellules adjacentes dans le cas d'un automate à une dimension, ou bien ses huit cellules adjacentes dans le cas d'un automate à deux dimensions. Chacun des automates est défini par un ensemble de règles locales qui vont spécifier son comportement en fonction de son voisinage — des voisinages différents pouvant conduire à des états différents de l'automate considéré. L'un des plus célèbres automates cellulaires est sans doute celui inventé en 1970 par le mathématicien John Conway et baptisé « Jeu de la vie »⁴. Dans ce système, chaque cellule ou automate ne peut être que dans deux états 0 (inactif) ou 1 (actif). La règle locale appliquée simultanément à l'ensemble des automates de ce réseau est la suivante : une cellule devient active si et seulement si trois de ses cellules voisines sont actives. Elle demeurera active si deux ou trois de ses voisins sont actifs, sinon elle deviendra inactive. Ce type d'automate cellulaire produit un comportement global d'une extraordinaire complexité et continue de faire l'objet d'un nombre important de travaux. Parmi les structures les plus remarquable qu'il peut produire, on trouve les *gliders* : une configuration périodique de cellules actives qui se déplace diagonalement de manière coordonnée (*cf.* figure 2). Lorsque deux de ces structures entrent en collision, plusieurs types de structures peuvent en résulter. Nous retrouvons dans ce type de système les caractéristiques essentielles des modèles auxquels a recours la vie artificielle : chaque calcul est local et s'opère de manière parallèle par l'ensemble des agents.

4. M. Gardner, « The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game life », in *Scientific American*, 223 : 120-123.

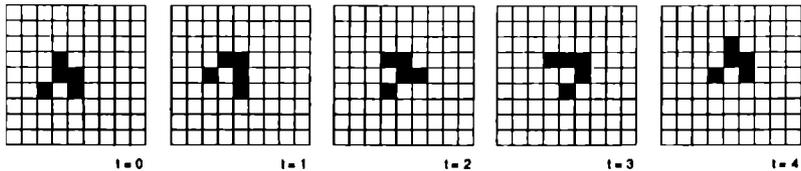


Figure 2. Mouvement d'un *glider* sur la grille d'un automate cellulaire en dimension 2. Au cours des quatre générations nécessaires au *glider* pour adopter à nouveau sa forme primitive, la configuration de cellules actives se déplace d'un carré en diagonale.

On peut s'interroger sur ce que peuvent être ces propriétés essentielles ou fondamentales des organismes qui leur confèrent leur caractère vivant. Mais, s'il est délicat de bâtir ou de s'accorder sur une définition concrète de la vie, il existe cependant quelques propriétés qui demeurent associées aux systèmes que nous considérons comme vivants :

1. La capacité d'initier un comportement en réponse à l'environnement (comportement adaptatif).
2. La capacité de produire des copies de soi-même (auto-reproduction).

Les idées qui se trouvent à la base des boucles de Langton (cf. figure 4) trouvent leur origine dans les travaux de John von Neumann⁵. Celui-ci recherchait une machine de Turing (un automate universel très simple) pouvant se reproduire elle-même. Pour cela, il essaya de développer un « constructeur universel ». Si on lui donnait un plan ou programme de ce qu'elle devait construire, une telle machine devait être capable de construire n'importe quoi, y compris elle-même. Ainsi, pour implémenter une auto-reproduction, un constructeur universel devait être capable d'obtenir un plan de lui-même, puis de créer une copie de lui-même à partir de ce plan. Il devait être également capable de copier le plan de telle manière que la nouvelle copie de lui-même possédât elle-même un plan pour pouvoir se reproduire. Le résultat fut une configuration extrêmement complexe

5. J. von Neumann, *Theory of self-reproducing automata*, edited & completed by A. W. Burks, University of Illinois Press, 1966.

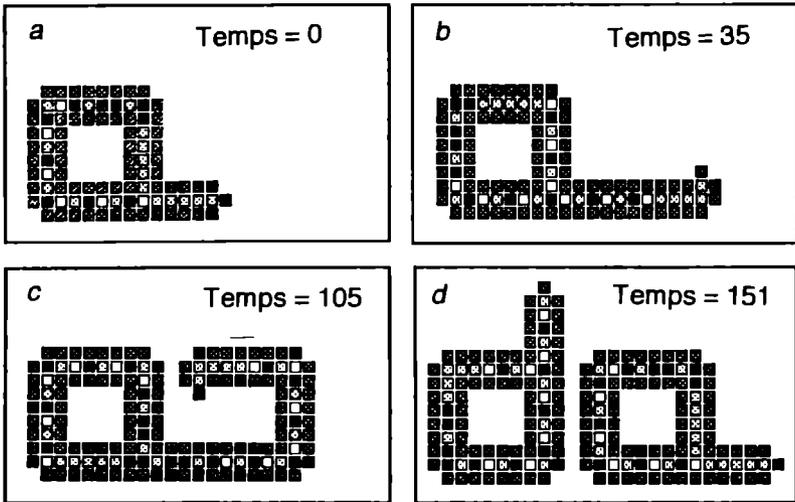


Figure 4. Les boucles auto-reproductrices de Chris Langton débutent avec une structure en forme de Q. Lorsque des règles de transition d'état sont appliquées localement, la queue de la structure s'étend pour former finalement une boucle fille.

est une simple configuration auto-reproductrice de cellules (*cf.* Figures 3 et 4a). Le « matériel génétique » qui circule au sein de la boucle n'est pas seulement une description de la manière de construire la boucle, mais aussi la matière qui forme la nouvelle boucle. L'intérieur et l'extérieur de la boucle sont utilisés pour guider le mouvement du matériel génétique. Lorsque le matériel génétique atteint dans la boucle le « T » auprès du bras en construction, il est dupliqué. L'une des copies continue alors de circuler dans la boucle pendant que l'autre est envoyée dans le bras pour former une nouvelle boucle. La règle est construite de telle manière qu'il y ait deux types d'instructions dans le matériel génétique : « étendre en avant » et « tourner à gauche ». Plusieurs commandes « étendre en avant » (7-0) demeurent entre chaque commande « tourner à gauche » (4-0). La description génétique entière consiste en instructions nécessaires pour créer un côté et effectuer un tour de la boucle à gauche. En circulant quatre fois à l'intérieur de la boucle mère,

les instructions permettront de construire une nouvelle boucle complète composée de quatre côtés et de quatre virages à gauche (*cf.* figure 4). Dès qu'une boucle fille complète est créée, la règle provoque la séparation et le dégagement des deux boucles. Dès lors que le cordon ombilical est rompu, chacune des deux boucles peut continuer à construire de nouvelles copies. Elles continueront ainsi jusqu'à ce qu'elles soient entourées de descendantes.

Le comportement collectif des *boïds*

Craig Reynolds s'est intéressé à l'émergence des structures collectives que l'on rencontre dans les vols d'oiseaux ou les bancs de poissons⁸. Dans le modèle qu'il a réalisé, chacune des créatures (ou *boïds*) est autonome et interagit avec ses congénères sur la base d'informations strictement locales. Le comportement de chaque *boïd* est régi par trois règles fondamentales :

1. Maintenir une distance minimum avec les autres objets rencontrés dans l'environnement, y compris les autres *boïds*.
2. Ajuster sa vitesse de déplacement sur celle des autres *boïds* présents dans le voisinage.
3. Se diriger vers le centre de masse perçu des *boïds* présent dans le voisinage.

Lorsqu'un ensemble de *boïds* est disséminé aléatoirement dans un univers simulé (*cf.* figure 5), il se rassemble pour constituer une structure collective tout à fait semblable à un vol d'oiseaux se déplaçant de manière fluide et évitant les obstacles placés sur leur trajectoire. Aucune règle locale de comportement ne dépend d'une information globale : le comportement global du groupe de *boïds* est clairement un comportement émergent.

8. C. W. Reynolds, « Flocks, herds and schools : a distributed behavioral model », in *Computer Graphics*, 1987, 21 : 25-34.

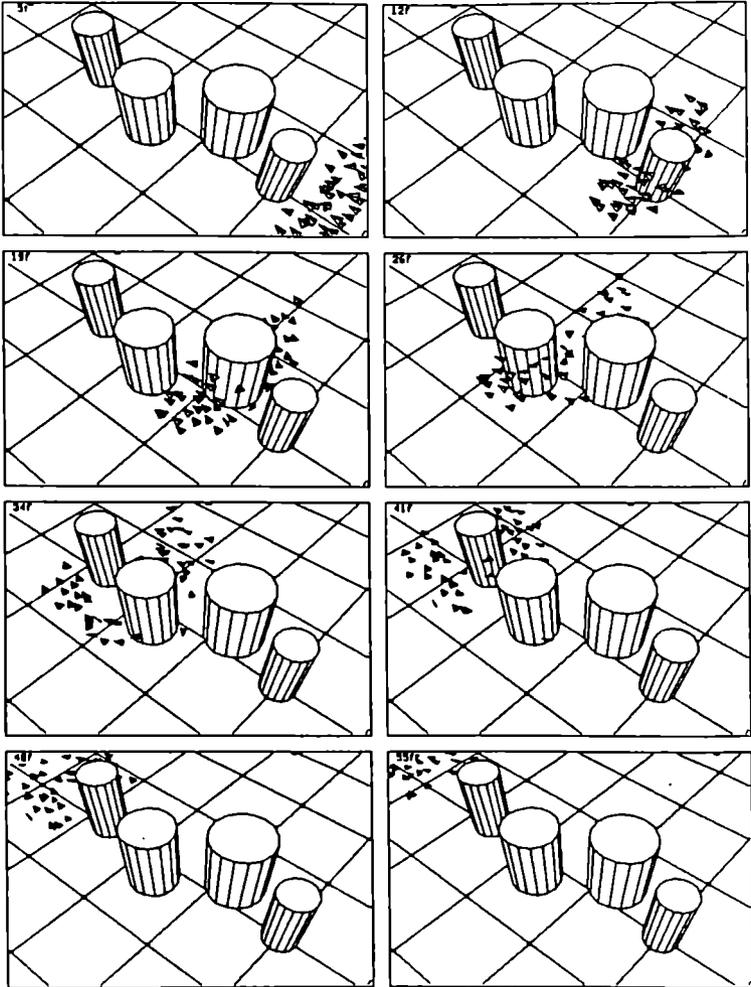


Figure 5. Un vol de *boids*. Dès lors que le comportement du groupe émerge des interactions locales individuelles de chaque *boïd*, on ne peut prédire à l'avance comment le groupe réagira face à un obstacle. Ici, la volée se sépare temporairement en deux pour fusionner à nouveau après les obstacles

Synthèse et émergence

Avec Galilée s'est engagée au sein de la science une rupture fondamentale avec la méthode aristotélicienne : on commençait à comprendre que l'approche d'un phénomène physique passe par une chasse à l'avatar. En effet, un phénomène naturel peut se présenter sous des formes diverses tout en restant essentiellement le même ; il faut donc savoir faire abstraction des déguisements qui peuvent en empêcher l'identification. Par exemple, l'universalité de la chute des corps dans le vide dérivant d'observations faites dans l'air, il a d'abord fallu comprendre que la résistance de l'air et les forces de frottement n'étaient que des phénomènes parasites. C'est ainsi que l'abstraction fonctionne : par élimination de paramètres contextuels qui empêchent la compréhension et l'observation du phénomène important. Mais cet idéal de modélisation perd de sa superbe lorsque les phénomènes impliqués sont d'une grande complexité, comme c'est le cas des processus biologiques : quels sont alors les paramètres importants et quels sont ceux que l'on peut éliminer ? Parce que ce choix est un préalable à toute tâche de formalisation, on comprend la place prise par la modélisation en biologie. Mais, tandis que la biologie théorique détermine ses « variables » pertinentes par l'analyse (étude descendante), la vie artificielle procède par une détermination synthétique des variables nécessaires à sa compréhension du vivant — c'est sa raison d'exister.

L'idée originale de la vie artificielle consiste à explorer par synthèse tous les comportements possibles générés par des systèmes constitués d'éléments simples en interaction : cette méthode repose donc sur le pari que les variables pertinentes sont en faible nombre, et que la reproduction fidèle de phénomènes ressemblant au vivant permet de valider ces variables et leur organisation relationnelle. Ce parti pris est largement motivé par les avancées scientifiques récentes dans le domaine des systèmes complexes, qui entraînent dans leur sillage l'idée puissante d'émergence.

La figure 6, due à Langton, représente les deux types d'approches ascendante et descendante employées pour modéliser les systèmes complexes : elle explique en quoi les théories de l'émergence constituent

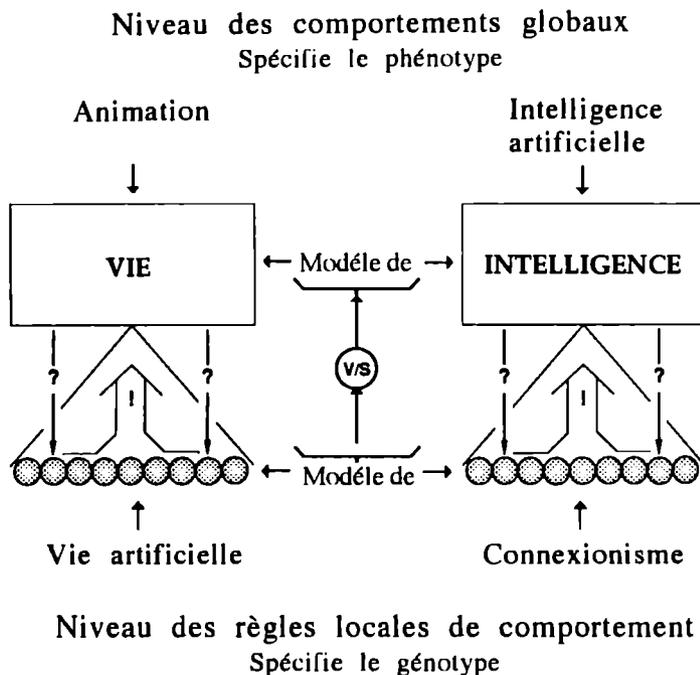


Figure 6. Les deux types d'approches ascendante et descendante employées pour modéliser les systèmes complexes.

le fondement de la vie artificielle. L'approche descendante (ou *top-down*) — qui caractérise en particulier le paradigme de l'« intelligence artificielle » — tente, à partir des manifestations de la vie, d'en trouver les principes fondamentaux. L'approche ascendante tente au contraire, à partir de simulations et d'observations physiques, de synthétiser des comportements de plus en plus complexes qui, en retour, pourraient capturer la nature de quelques aspects de la vie. La vie artificielle se concentre donc sur les diverses façons de produire l'émergence de comportements de plus en plus complexes. Langton explique : « La leçon la plus surprenante que nous avons tirée de la simulation de systèmes physiques complexes

sur ordinateur est qu'un comportement complexe n'a pas nécessairement de racines complexes. (...) Un comportement d'une formidable complexité peut émerger à partir d'assemblages de composants extrêmement simples⁹.» Ceci constitue la principale justification de l'approche de la vie artificielle : les théories des systèmes complexes donnent naissance à des espoirs fantastiques, et la plupart des modèles de la vie artificielle ont effectivement réussi, en se fondant sur l'approche ascendante, à reproduire certains aspects des systèmes vivants.

La vie artificielle généralise les notions de génotype et de phénotype utilisées en biologie. Ainsi, les règles locales qui spécifient le comportement des éléments constituant un système donné (par exemple des fourmis artificielles dans la simulation d'une colonie) peuvent être tenues pour un analogue du génotype — cet ensemble d'instructions codées par la séquence des nucléotides qui constitue l'ADN d'un organisme. L'équivalent du phénotype étant les structures et les comportements qui émergent à partir des interactions individuelles locales (par exemple la division du travail ou l'organisation spatio-temporelle des activités individuelles dans une colonie de fourmis). Ceci constitue l'approche ascendante (ou *bottom-up*) de la genèse d'un comportement. La méthodologie qui la caractérise consiste à définir, pour un ensemble d'agents, les règles de comportement spécifiant le type d'action d'un agent en réponse à certaines caractéristiques locales de l'environnement ou lors de rencontre avec un autre agent. Les objets, produits de manière récursive, illustrent cette analogie : les règles locales de développement constituant le génotype ; le comportement ou l'objet ainsi produit par l'application itérative des règles constituant le phénotype. Chaque objet est une structure constituée de sous-parties. Les règles du système spécifient comment modifier chacune des sous-parties élémentaires et sont habituellement sensibles au contexte dans lequel ces sous-parties sont encapsulées — c'est-à-dire que le voisinage d'une sous-partie est pris en compte pour déterminer quelle règle appliquer pour sa

9. C. Langton (ed), 1989, *op. cit.*

modification (cf. par exemple les *L-systèmes* et les automates cellulaires — figures 1 & 2). Le comportement manifesté par l'ensemble du système n'est jamais entièrement programmé par l'expérimentateur, il est le résultat d'un ensemble de micro-interactions générant des macro-structures, que Forrest appelle des « épiphénomènes ¹⁰».

Toutefois, bien que l'émergence apparaisse comme un concept central de la vie artificielle (et des sciences cognitives) et fonde l'approche ascendante de l'étude de la vie, il n'existe pas de réel consensus sur ce qu'il recouvre. D'autre part, la vie artificielle pose des questions beaucoup plus pratiques, concernant les moyens de faire apparaître spontanément certaines propriétés (on peut même se demander si des caractéristiques profondes du vivant pourront émerger de simulations sur ordinateur ou d'autres substrats physiques). Forrest propose quelques conditions nécessaires et suffisantes pour qu'une structure fonctionnelle émergente apparaisse :

1. L'existence d'un assemblage d'agents suivant des instructions locales explicites.
2. Des interactions entre ces agents qui conduisent à la formation, au niveau macroscopique, de *patterns* globaux appelés « épiphénomènes ».
3. Ces épiphénomènes doivent pouvoir être interprétés en termes de fonction (qu'ils implémentent).

Pour Forrest, l'émergence est donc un concept relatif à un observateur et aux niveaux de descriptions utilisés par celui-ci. Précisément, l'interprétation fonctionnelle des *patterns* dynamiques de haut niveau fait largement intervenir l'observateur, qui décide, en quelque sorte, quelles structures émergentes sont intéressantes. Lorsqu'on applique ce raisonnement à la vie artificielle, l'importance de l'observateur n'en est pas diminuée — au contraire. C'est lui qui juge de la validité d'un modèle ou d'une simulation en déterminant si les structures qu'il voit émerger sont des réminiscences de structures observées dans le monde vivant. Dans ce cas, la notion d'émergence est donc indissociable de celle d'observateur : les structures pertinentes

10. S. Forrest, « Emergent computation », in *Physica D*, 42, 1990.

sont les seules qui puissent émerger puisque, par définition, l'observateur ne qualifie d'émergentes que les structures qui l'intéressent ! On rencontre ici une des limites de la vie artificielle : nous ne sommes capables de reconnaître tautologiquement que la vie telle que nous la connaissons ; la vie telle qu'elle pourrait être apparaissant alors comme une chimère.

Une mort annoncée ?

Nous fûmes jusqu'ici fort civils dans notre présentation de la vie artificielle ; d'une part parce qu'il nous fallait présenter sans le juger ce champ de recherche peu familier ; ensuite, parce qu'au moins l'un d'entre nous¹¹ a finalement beaucoup de sympathie pour ce programme de recherche (pour son originalité et sa force), bien que nous soyons d'accord sur ses défauts. Il nous faut maintenant avouer que nos critiques, soigneusement gardées en réserve, sont nombreuses, que nos mises en garde sont violentes, et que nous avons des doutes à émettre sur ce que la vie artificielle, telle qu'elle vient d'être définie, peut apporter à la compréhension du vivant.

L'apport de la vie artificielle à la compréhension du vivant

Sans se poser plus avant la question du statut des modèles de la vie artificielle, on peut s'interroger sur la nature de son apport potentiel à la compréhension des mécanismes qui sous-tendent toute l'activité vivante. Et, puisqu'il s'agit là de l'un des buts avoués de ce programme de recherche, on peut également chercher à savoir quelle peut être sa contribution à la biologie théorique, et si la vie artificielle doit être considérée comme une branche de celle-ci.

11. Il s'agit d'Éric Bonabeau.

En effet, si l'on caractérise la vie artificielle par la synthèse, on peut imaginer que la biologie théorique pourrait utiliser cette méthodologie, bien qu'elle ne soit pas son outil classique. Cette distinction entre biologie théorique et vie artificielle se réduit d'ailleurs dans l'affirmation de Langton : « *Artificial life is synthetic biology* ¹² » — la synthèse n'a apparemment pas de limite et contient en elle tous les abus : l'étude de la vie telle qu'elle pourrait être est la conséquence immédiate d'un programme de recherche synthétique mené trop loin. La synthèse produit en effet par définition une gamme de comportements autrement plus large que l'analyse : tandis que la première postule des causes pour reproduire des comportements observables, la seconde remonte aux causes d'un comportement observé. De plus, la biologie théorique ne s'intéresse pas à la réalisation de comportements implémentés dans des substrats autres que les molécules organiques terrestres. La vie artificielle n'est donc pas la biologie théorique. Mais, dès lors que cette distinction est acceptée, la question se pose avec plus d'acuité encore, de savoir ce que la vie artificielle peut apporter aux disciplines de la biologie ; même en n'étant pas elle-même une science — ce qui est discutable, et sera discuté plus loin.

On peut, pour commencer, émettre des réserves sur les apports possibles de la vie artificielle à la compréhension du vivant lui-même (*i.e.* du « vivant-tel-que-nous-le-connaissons »). La majorité des chercheurs de ce champ disciplinaire ne sont-ils pas informaticiens ? C'est d'ailleurs ce qui rend la vie artificielle si attrayante : avec son ordinateur personnel, on peut faire évoluer des populations de *Blurlbs* qui parviennent finalement, grâce à l'amplification d'un gène qui les fortifie, à résister aux *Schmoukroups*. Mais dans ce domaine où le danger fut tout de suite présent, la science a perdu ses petits. Certes, quelques marginaux venus de la biologie y posent leur regard bienveillant et paternel, mais ils sont rares, et les biologistes sont généralement plutôt méfiants — et en l'état actuel, ils ont

12. in *Artificial life* II, *op. cit.*

bien raison. Les *Blurlbs* peuvent-ils leur apprendre quoi que ce soit sur les principes dynamiques fondamentaux du vivant ? La réponse, aussi étrange qu'elle puisse paraître, est : « Peut-être ». Mais dans le sens restreint où le succès d'une simulation peut amener à se poser des questions sur la nature du phénomène reproduit, sans pour autant prétendre que le modèle capture effectivement l'essence du phénomène. D'autant plus, qu'en un certain sens, il est difficile de trouver plus simple qu'un modèle de la vie artificielle pour expliquer un phénomène ; et toute démarche épistémologiquement sensée se devant de rechercher d'abord les explications simples, les modèles de la vie artificielle peuvent servir d'étalon.

Malgré ce bel optimisme, il faut pourtant dire que l'apport d'un modèle de la vie artificielle qui suit toutes les règles de l'art (c'est-à-dire aucune) à la compréhension du vivant, ne peut être qu'accidentel : un tel modèle, purement synthétique, ne modélise à priori pas grand-chose ; et c'est seulement dans l'observation à posteriori du résultat de la synthèse que l'on pourra trouver des ressemblances avec des phénomènes réels — on dit alors que le modèle a « modélisé » ce qu'il reproduit phénoménologiquement. L'abstraction effective des principes dynamiques fondamentaux du vivant se faisant également, s'il y a lieu, à posteriori — c'est-à-dire accidentellement. (C'est ainsi que se pratique quotidiennement la vie artificielle.) En bref, dans un modèle générique de vie artificielle, le biologique n'étant pas source d'inspiration, il ne peut y avoir d'abstraction des principes fondamentaux du vivant, clairement déclarés « hors-sujet » dans les manifestes de Langton. Mais que devient alors le projet de la vie artificielle, qui prétend étudier « la-vie-telle-qu'elle-pourrait-être », avec pour validation la ressemblance avec la vie telle que nous la connaissons ?

Si, par contre, le point de départ d'un modèle de vie artificielle est l'observation expérimentale du vivant, alors l'activité du « biologiste artificiel » commence à ressembler à de la véritable modélisation, c'est-à-dire au travail de biologie théorique. La distinction entre biologie théorique et vie artificielle s'estompe alors, et l'originalité de cette dernière faiblit. Certains modèles, situés à la frontière des deux disciplines, pratiquant la synthèse et utilisant le vivant

comme inspiration *et* comme validation, se montrent les plus fructueux. De tels modèles diffèrent de purs modèles de biologie théorique par leur double usage possible : ils se prêtent aussi bien à un retour sur le biologique qu'à des applications en ingénierie. Les travaux engagés depuis plus d'une dizaine d'années par Deneubourg et ses collègues appartiennent à cette catégorie : à partir d'observations faites, par exemple, sur des colonies de fourmis, ils ont reproduit par des simulations informatiques, fondées sur certains indices tels que la présence de phéromones, des *patterns* de fourragement structurés¹³. Les résultats obtenus permettent de valider les hypothèses (importance de certains paramètres comme justement le dépôt de phéromones), et d'élever la simulation au rang d'explication scientifique (les simplifications du modèle ainsi que le choix des variables sont soigneusement étudiés et justifiés). On voit donc le retour sur le biologique : la justification est fondée sur des observations empiriques (avec un zeste d'intuition), et la validation se fait par comparaison avec le phénomène reproduit. Et qu'en est-il du versant artificiel ? Les conséquences de ces simulations pour la robotique sont difficiles à estimer, mais d'ores et déjà, des résultats impressionnants ont été obtenus par application de principes utilisés pour la simulation à l'accomplissement de tâches diverses par des colonies de robots : récolter, sarcler, optimiser, résoudre des équations différentielles, etc.¹⁴

Abstraire les principes dynamiques fondamentaux du vivant oblige en outre à s'interroger sur la nature du vivant : qu'est-ce que la vie ? Comment pouvons-nous savoir qu'un objet est vivant ? Pouvons-nous formaliser nos intuitions ? La réponse des tenants de la vie artificielle est claire : il nous est impossible de

13. J. L. Deneubourg & S. Goss, « Collective patterns and decision making », in *Ecol. Ethol. Evol.*, 1989, 1 : 295-311.

14. G. Théraulaz *et al.*, « Task differentiation in *Polistes* wasp colonies : a model for self-organizing groups of robots », in J. A. Meyer & S. W. Wilson (eds), *Simulation of adaptive behavior : from animals to animats*, MIT Press/Bradford Books, 1991 : 346-355.

caractériser le vivant par des conditions nécessaires et suffisantes ; toutefois, certaines propriétés, presque toujours associées à la vie permettent de fournir une réponse graduelle à la question : tel objet est-il vivant ? Pour Farmer et Belin, un être vivant est une structure dans l'espace et le temps ayant la possibilité de se reproduire, possédant une représentation de lui-même (comme par exemple l'ADN) dont le métabolisme lui permet de transformer l'énergie en matière et en activités internes structurées (le métabolisme peut être indirect, comme chez les virus qui utilisent celui de leurs hôtes), capable d'interactions fonctionnelles avec son environnement, composé de sous-parties largement interdépendantes, faisant preuve de stabilité face aux perturbations externes, et enfin doué de la possibilité d'évoluer (niveau phylogénétique)¹⁵. Ces propriétés, inférées de l'observation de la vie telle que nous la connaissons, constituent bien la forme prise par la vie sur Terre. Mais, si ce sont là les principes du vivant, comment peuvent-ils justifier que l'on s'intéressât à la vie telle qu'elle pourrait être ? Celle-ci ne pourrait alors consister qu'en la réimplémentation dans d'autres substrats des principes fondamentaux de la vie telle que nous la connaissons — ce serait là une vision bien triste, niant toute originalité, toute possibilité d'une vie fondée sur des principes qui ne nous effleurent même pas. Mais, que la vie telle qu'elle pourrait être soit cette banale réimplémentation ou quelque chose de totalement original (auquel cas nos difficultés à définir clairement la vie sur Terre devraient nous inciter à réfléchir sur celles qui nous attendent avec la vie telle qu'elle pourrait être : elle pourrait être n'importe quoi), l'objet d'étude reste incertain. Naviguant dans un champ d'exploration trop grand et pas assez riche, la vie artificielle semble s'accommoder de telles incertitudes.

15. J. D. Farmer & A. d'A. Belin, « Artificial life : the coming evolution », in C. Langton *et al.* (eds), 1992 : 815- 840, *op. cit.*

Les dangers du fonctionnalisme

L'abstraction des principes fondamentaux du vivant, pour peu qu'ils existent, pose toute de même quelques problèmes : ne pas s'inquiéter du substrat qui implémente ces supposés principes peut mener à des aberrations, le substrat pouvant avoir une importance fondamentale dans la réalisation d'une fonction biologique — importance dont les biologistes sont convaincus. Peut-on dissocier, dans le cas du vivant, la fonction de son substrat ? Les êtres vivants, contrairement à la plupart des réalisations humaines, comme les machines, présentent d'infinies complications. En face de l'immense complexité du fonctionnement cellulaire, il semble illusoire de vouloir séparer les conformations spatio-temporelles des molécules de leurs propriétés de traitement de l'information : les aspects structuraux (liés au substrat) et les aspects fonctionnels (produits du point de vue arbitraire et idéalisé du modélisateur) sont inextricablement mêlés. L'infinité des paramètres auxquels tout être vivant ou tout objet inanimé est soumis n'est pas prise en compte dans les modèles ; et en ce sens, forme et matière sont indissociables : seule la matière pouvant prendre en compte cette infinité (certains paramètres sont pertinents, d'autres non).

En outre, on peut facilement montrer que plusieurs structures peuvent implémenter la même fonction (dans des environnements semblables ou différents) et que la même structure peut implémenter une infinité de fonctions (dans des environnements différents ou définies sur des variables différentes)¹⁶. Et d'autre part, l'irréductibilité de la compréhension du comportement d'une machine, qu'elle soit

16. Une fonction est définie par ses effets sur un sous-ensemble (généralement fini) donné de variables internes au système et de variables environnementales, prenant éventuellement leurs valeurs dans un domaine restreint. Une structure est définie fonctionnellement par ses effets, lorsqu'elle est plongée dans un environnement, sur l'ensemble des variables internes et environnementales pour la totalité de leur domaine de variation. Ainsi, alors que la fonction est une idéalisation mathématique, la structure est une propriété de l'objet naturel, soumis à l'immense infinité des paramètres de l'univers.

biologique ou de conception humaine, aux « lois » de la physique, demande l'ajout de certaines spécifications aux modèles. Ces spécifications supplémentaires, appelées « conditions au bord » (par analogie avec les conditions au bord que l'on impose aux solutions d'une équation différentielle), restreignent l'espace des comportements possibles du système modélisé à un sous-espace de comportements plus spécifiques. Pour un système naturel, qui contient en lui l'infinité des paramètres qui l'influencent, les conditions au bord sont par définition internes, mais elles peuvent être externes pour un système artificiel. On peut alors se demander si les modèles de la vie artificielle, simples par décision, sont capables de générer par eux-mêmes une richesse suffisante de conditions au bord. Rien n'est moins sûr, si l'on admet que l'évolution génère justement des conditions au bord accidentelles du point de vue d'un modèle, mais essentielles pour la compréhension de la bifurcation comportementale d'un système naturel¹⁷.

Bref, le fait que l'on puisse implémenter un ensemble de « principes fondamentaux » dans un substrat ne permet pas d'écartier le rôle éventuellement crucial — mais accidentel du point de vue du modèle — de ce dernier. Tandis que l'apparition d'un nouveau type d'observable, nommé « émergence relative à un modèle » semble échapper au pouvoir de synthèse de la vie artificielle¹⁸.

17. La notion de « conditions au bord », qui provient d'un article vitaliste et anti-réductionniste de M. Polanyi (« Life's irreducible structure », *Science*, 1968, 160 : 1308-1312) a été étendue par Éric Bonabeau.

18. Concernant le concept d'« émergence relative à un modèle », cf. les travaux de H. H. Pattee (« Simulations, realizations and theories of life », in C. Langton (ed.), 1989 : 63-77, *op. cit.*), R. Rosen (*Anticipatory systems*, Pergamon Press, 1985), et P. Cariani (« Emergence and artificial life », in C. Langton & al. (eds), 1992 : 775- 797, *op. cit.*). Ces travaux se situent dans une tradition qui comprend Bergson, Von Uexkull, Morgan, Lotka, Rashevsky, Weiss et Waddington.

Statut des modèles

La vie artificielle se situe dans la droite ligne des sciences de l'artificiel, définies par Simon ; dans ce contexte, un objet est artificiel s'il présente à ses observateurs de telles similitudes avec l'objet réel qu'il est impossible aux observateurs de le distinguer de ce dernier, sans pour autant que les similitudes soient plus profondes (certaines caractéristiques de chacun des objets, inaccessibles aux observateurs, ou ne les intéressant pas, pourraient permettre de les distinguer). Cette définition implique une ressemblance de l'extérieur et non de l'intérieur : « Une similarité perceptive mais une différence dans l'essence (...). Ce type d'imitation est possible car des systèmes physiques organisés différemment peuvent produire des comportements quasiment identiques ¹⁹. » Cette description convient parfaitement aux modèles de la vie artificielle, dont le seul but est de reproduire des phénomènes : ses modèles sont donc jugés sur la manière dont ils reproduisent les phénomènes. Le découplage de la vie artificielle et de la « réalité » biologique lui permet, par le biais du prétendu programme de recherche sur la vie telle qu'elle pourrait être, de s'affranchir des contraintes empiriques habituellement imposées aux sciences classiques. C'est alors le statut explicatif des modèles qui est mis en cause : si la seule ressemblance phénoménologique suffit à valider un modèle, la composante « validité biologique » étant à priori nulle, la validation s'en trouve affaiblie. Les modèles de la vie artificielle ne capturent rien, ils se contentent de reproduire ; et la capture de l'« essence » d'un phénomène, c'est-à-dire l'explication de ce phénomène à un niveau donné, n'est qu'accidentelle et n'intervient qu'à posteriori, lorsque le modèle est confronté au biologique et soumis à un grand nombre de tests.

Parallèlement, peut-on considérer une simulation comme une explication ? Certains systèmes sont irréductibles en ce sens que leur comportement ne peut pas être compris par un modèle de faible dimension : le nombre de degrés de liberté pertinents est

19. H. A. Simon, *The Sciences of the artificial*, MIT Press, 1969.

immense, et on ne peut espérer comprendre le système par le biais des équations qui le modélisent (et non le gouvernent !). On a donc dans ce cas recours à la simulation pour explorer le comportement de ce système. Mais si, par chance, on obtient un comportement intéressant, la simulation constituera-t-elle pour autant une explication de ce comportement ? Si, comme Putnam ²⁰, nous définissons une explication par le fait qu'elle permet de pointer parmi l'ensemble des causes possibles d'un phénomène lesquelles sont pertinentes, la réponse est non. Mais alors, qu'en est-il des systèmes complexes en général, c'est-à-dire des systèmes qui semblent par nature échapper à l'explication ?

Certes, tout modèle d'un système naturel demeure partiel et n'existe qu'à un niveau donné de description, et seuls certains aspects du système peuvent être pris en compte ; ce qui est une caractéristique commune à toutes les sciences qui traitent de systèmes naturels : il est impossible de travailler directement sur son infinie complexité. Le processus classique de modélisation commence par le choix d'un nombre restreint de variables, d'une classe de relations entre ces variables, à l'intérieur de laquelle on choisit, par confrontation aux données expérimentales, le modèle qui rend le mieux compte de ces données. Dans ce processus, le choix des variables, de la classe de modèles et du critère de sélection entre modèles au sein d'une même classe — en dehors de la meilleure reproduction possible des données choisies — n'est pas arbitraire : il est guidé par des contraintes d'ordre expérimental ou liées à la tâche à résoudre, et des principes épistémologiques comme la simplicité ou la parcimonie. Ainsi, un certain pouvoir explicatif (toujours relatif au niveau de description choisi) est conféré à un modèle s'il respecte à la fois l'obligation de reproduire les données et les contraintes additionnelles — notons que ces dernières sont souvent essentielles à ce statut explicatif. Alors que dans toutes les sciences, on peut définir une certaine gradation dans le statut explicatif des modèles, selon qu'ils respectent ou non, tout ou en partie, ces

20. H. Putnam, « Reductionism and the nature of psychology », in *Cognition*, 1973, 2 : 131-146.

contraintes additionnelles, dans le cadre de la vie artificielle, celles-ci sont inexistantes. Bref, la vie artificielle se trouve à cette frontière de la science où l'on se contente de la ressemblance phénoménologique. Car, si tout se passe comme si certains observables agissaient en accord avec certains principes du vivant, quels que soient les niveaux de description auxquels ils interviennent, les modèles restent des modèles, *i. e.* la meilleure approximation possible du comportement concerné — leurs conditions de validité restant à définir.

Une autre question se pose au sujet des simulations de la vie artificielle : sont-elles vivantes ? La question est à notre sens dénuée d'intérêt : ne sachant pas donner une définition précise du vivant, nous ne pouvons déclarer si une simulation est vivante ou non. À la question de savoir si une pierre est vivante, nous répondrions non ; à celle de savoir si un lapin est vivant, nous répondrions sans doute oui. Mais ces réponses sont connaissables sans pour autant que les raisons qui les motivent le soient : en l'absence de critères précis, ce que nous appelons vivant reste trop dépendant de notre expérience et de notre intuition pour pouvoir être utilisé tel quel.

Ambiguïté et alibi

En définitive : pourquoi construit-on des « modèles » de vie artificielle indépendants de la biologie ? Dans quel but réimplément-on les « principes fondamentaux du vivant » dans d'autres substrats ? Dans une visée pragmatique ? pour chercher des applications pratiques ? Lesquelles ?

Notre réponse, fondée sur une certaine « expérience » de la vie artificielle, est surprenante : « Parce qu'on s'amuse ». Et que l'on cherche à posteriori des justifications épistémologiques, c'est bien dans l'esprit de la vie artificielle. Mais pour en dire un peu plus : la vie artificielle, épurée de cette quête prétendument scientifique de la vie telle qu'elle pourrait être et complétée par une ambition pragmatique clairement affichée (par exemple la réalisation de robots autonomes) peut se révéler fructueuse sans être pour autant assujettie à la biologie théorique. Dans ses structures actuelles, la

vie artificielle nous semble servir un ensemble de causes qui n'ont rien de scientifique, utilisée en particulier comme alibi scientifique d'une démarche artistique — ainsi, l'importance accordée aux démonstrations sensorielles qui font se dessiner sur les lèvres des spectateurs un petit « o » d'admiration et d'émotion ; elle fonde également un nouveau genre de loisir, où certains de nos moteurs psychiques sont mis en branle d'une façon tout à fait libidinale pour arbitrer, aux confins de notre subconscient, la confrontation entre notre vision du vivant et les créatures de la vie artificielle — nous pouvons être en effet curieusement, intensément, profondément émus, lors d'une rencontre avec une créature artificielle, fût-elle un automate cellulaire ; enfin, notre émotion esthétique est mise à contribution dans la pratique quotidienne de la vie artificielle — mais l'épistémologie ne place-t-elle pas l'esthétique au rang de critère de jugement d'une théorie scientifique ?

Ambiguïté enfin d'un programme qui prétend s'affranchir du vivant tel que nous le connaissons, alors que cette inspiration existe, implicite et non structurée par des faits expérimentaux — ainsi, Langton sait que les systèmes simples, composés d'éléments interagissant, constituent l'essence du vivant... tel qu'il le connaît. Cette inspiration secrète, offerte par le vivant, permet de masquer une démarche de nature artistique, en référence à la seule subjectivité et affranchie des contraintes trop pesantes de la réalité (qu'elle soit ou non scientifique).

Par la synthèse, méthode centrale de la vie artificielle élevée au rang de création, le « biologiste artificiel » devient, tel Louis Bec, un artiste de la rencontre entre son subconscient et des équations mathématiques ²¹.

21. L. Bec, « Éléments d'épistémologie fabulatoire », C. Langton *et al.* (eds), *Artificial life II*, Addison-Wesley, 1992 : 799- 811.

Syndrome de Gepetto et machine de Turing

De la construction naturelle des artefacts biologiques

*Un petit chat nommé O'pat,
Il s'était tout toasté aux pattes,
Il avait le soir au lit ce tic,
De sauter sur la terre à pic.*

Comptine de Marie-Lou

L'entreprise qui consiste à cerner l'être humain par une définition ne semble pas pressée de sortir d'une boucle logique insoluble : l'être humain qui se pense se pense depuis l'être humain. Les manifestations et les occurrences de cette boucle surgissent sous des formes extraordinairement variées. Comme les innombrables essais de mouvement perpétuel, elles adoptent diverses formes de la rationalité, tentent de perdre l'auditeur en la reléguant au rang de détail d'une démonstration par ailleurs plausible, ou essaient par une formulation savoureuse de dissimuler la tautologie fondamentale dans laquelle elles s'enracinent. « Le seul animal qui se souvient de son grand-père » — « Animal doué de raison » — « Arrière-petit-cousin de la limace qui découvrit l'Amérique et inventa le

calcul intégral » — brèves capsules qui noient dans les acquiescements entendus ou les sourires qu'elles provoquent la confusion entre une impossible définition de l'homme et l'ensemble infini de ses singularités¹.

Ces énoncés courants, souvent plus conscients qu'ils n'en ont l'air de leurs propres limitations, ne constituent que la partie émergée des tentatives de l'homme pour traiter de lui-même. De telles tentatives apparaissent dans l'ensemble des secteurs actuels du savoir : philosophie bien sûr, mais aussi épistémologie, anthropologie, sociologie, médecine, histoire, architecture... Elles ont une importance critique : les conclusions qui en sont déduites sont susceptibles de mener à des modifications profondes de l'éthique et de la morale, et par là d'influencer l'évolution des structures sociales et de tout ce qui en découle. De nombreuses recherches actuellement en cours requièrent, en raison de leurs conséquences potentielles pour l'homme, l'adoption préalable d'une position définie sur celui-ci et le vivant. Faire l'économie d'une telle tâche, c'est supposer soit que cette position émergera comme conséquence des résultats de recherche, soit que la connaissance peut se développer indépendamment de toute définition de l'homme — ce qui revient à assujettir l'avenir de l'homme aux développements de la connaissance.

CONJECTURE I DE L'ÊTRE HUMAIN :

LES MODÈLES CRÉÉS PAR L'ÊTRE HUMAIN POUR RENDRE COMPTE DE L'ÊTRE HUMAIN NE PERMETTENT PAS DE RENDRE COMPTE DE L'ÊTRE HUMAIN.

C'est bien entendu l'activité scientifique, par son statut actuellement privilégié et ses conséquences possibles pour l'homme, qui devrait se préoccuper le plus activement de telles définitions. Ce n'est malheureusement pas le cas : les scientifiques ont acquis pour le commun des mortels une réputation d'indifférence aux questions

1. L'expression « Animal doué de raison » est particulièrement instructive. D'origine prestigieuse, elle a acquis le statut de définition du fait de son inscription à l'item « Homme » de nombreux dictionnaires. Elle n'en reste pas

éthiques². Mais le problème prend une tournure nouvelle face au développement rapide du domaine appelé « vie artificielle », qui vise la fabrication de systèmes capables de simuler certaines caractéristiques du vivant. Ces caractéristiques ne sont pas choisies de façon aléatoire : leur sélection dépend directement de la définition que l'on donne de la vie.

Une petite fille sale, dans une rue transversale, devant une porte de fer forgé, lit quelques mots gravés en or sur du marbre noir. De très longs mots, elle ne les connaît pas bien, il y a si peu de temps qu'elle sait lire. Elle associe les lettres en syllabes et des syllabes elle fait des sons, elle arrondit la bouche puis elle place la langue doucement, sur les incisives, émet un son un peu sifflant et vite modifie les contours de ses joues pour les préparer au O qui s'annonce.

Elle lit avidement, syllabe par syllabe, toute à la joie d'entendre sa voix articuler des sons d'abord déconnectés qu'elle répète de plus en plus vite, qu'elle assemble consciencieusement en une séquence inconnue et chantante à laquelle elle tente de donner un sens, et la voici savante d'une langue nouvelle, heureuse de tous ces mots qu'il lui reste à connaître, rassurée de savoir qu'elle ne les connaît pas tous encore.

Produire un énoncé qui parle de l'homme, qu'il s'agisse d'un dicton quotidien ou d'une définition recherchée, se fait depuis une chaire que nous avons nous-mêmes établie, et qui nous donne

moins une tentative désespérée pour faire oublier que si l'homme se définit par rapport à la raison, la raison est l'invention de l'homme (et, dans une acception précise, de l'homme occidental). Tout homme dépourvu de raison n'est plus un homme selon cette définition, dont le sens exact est plus proche de l'expression « Être humain doué de raison ». L'utilité et les multiples applications possibles de ce dernier énoncé n'échapperont à personne.

2. Les exemples qui soutiennent cette opinion sont hélas nombreux, à commencer par les techniques génétiques, les réseaux d'information et l'énergie nucléaire.

une place distincte parmi les espèces vivantes. Une chaire dont la création repose sur la conscience : l'homme voit sa capacité à traiter de lui-même comme unique, et la conscience est inscrite dans la longue liste des singularités humaines. Mais cette particularité, jusqu'à preuve du contraire, n'est pas singulière ; lui donner un tel statut est prématuré, sinon erroné. Elle est de surcroît douteuse : elle signifie en fait « être conscient et conscient de l'être », et rien ne permet de dire si les animaux sont conscients de leur conscience. Les notions de réflexe et d'instinct jouent un grand rôle dans le refus de l'homme de reconnaître une conscience à l'animal ³. Si en revanche tout permet de reconnaître l'homme comme « conscient », c'est cette reconnaissance même qui permet de définir une « conscience », notion qui définit un objet par lequel cette définition est permise. Toute définition de l'homme possède par essence une composante tautologique.

D'autant plus tautologique d'ailleurs que l'acte de définir est lui aussi d'origine humaine, et qu'il est lui aussi soumis à définition. Quel que soit le sujet ou l'objet dont on parle, il est difficile de le libérer, lors de l'acte de définir, d'une intention préalable. Les nombreux énoncés qui cherchent à définir l'homme se répartissent en un nombre limité de catégories ; la sélection d'une définition dans une catégorie donnée est déjà une indication des conséquences théoriques ou opérationnelles qui en sont attendues.

À l'intérieur des grandes catégories citées plus haut — tautologies et singularités — apparaissent les anecdotes (« arrière-petit-cousin de limace qui découvrit l'Amérique et inventa le calcul intégral »), les énoncés invérifiables (« le seul animal qui sait qu'il va mourir »), les énoncés erronés (« le seul animal qui donne la

3. Sans parler d'une souffrance. La définition de la souffrance est confrontée aux mêmes questions d'éthique que celle de la vie — cf. la décérébration des grenouilles par des classes entières de lycéens plus ou moins adroits : on montre à des adolescents en situation d'enseignement (et donc d'acquisition de valeurs sociales) que le monde dans lequel ils entrent place la décérébration des grenouilles sur le même plan que la dictée ou les problèmes de robinet. L'exercice est d'ailleurs noté.

mort à ses congénères »), ceux à conséquences politiques (« animal dont les instincts archaïques sont contenus par la culture ») ou scientifiques (« le cerveau comme un ordinateur »). L'emploi de la synecdoque est fréquent dans ce dernier cas, conséquence logique du découpage cartésien de l'organisme.

Bien sûr, Marie-Lou sait les consonnes et les voyelles et où commence un mot et où il s'arrête. Elle sait même que quand il y a un point c'est la fin d'une phrase et celle d'après commence avec une majuscule. Que des fois un mot se prononce drôle parce qu'il commence par une voyelle : ça fait une liaison avec le mot d'avant et les mots se mélangent, et son papa rigole très fort quand il dit nous sommes allés aux soupes aux oignons ou encore l'habit à la main c'est un poète qui l'a écrit et il a dit aussi c'est idiot mais ça me fait rire l'habit à la main. Les mots, on ne les dit pas toujours comme ils sont écrits alors des fois on est un peu perdu mais c'est pas grave, quand on est plus grand on sait les reconnaître.

Elle a aussi une amie qui vient de l'Angleterre, c'est la grande île des Anglais, et c'est bizarre parce que les mots changent, on dit plus pareil, ils veulent plus dire la même chose, Rebecca montre un buisson dans le parc et elle dit « bouche », Marie-Lou montre sa bouche et elle dit « bouche », l'autre la regarde avec des yeux ronds alors Marie-Lou dit « oui, oui, bouche » et Rebecca éclate de rire et elle ne peut plus s'arrêter et Marie-Lou aussi, et Rebecca enjambe la petite clôture qui borde l'allée, file vers le buisson en disant « oui, oui, bouche », s'assoit sous le buisson et fait pipi dans l'ombre sous les yeux ébahis de Marie-Lou.

La sélection des caractéristiques à simuler dépend d'une définition du vivant ; une définition non soumise à une intention préalable est virtuellement inexistante ; comme si ces deux limites n'étaient pas suffisantes, les techniques disponibles semblent elles aussi exercer un contrôle supplémentaire sur ces définitions. De façon quasi systématique, une telle recherche s'effectue à l'aide des moyens les plus avancés d'une époque, tant théoriques que conceptuels. Depuis l'homme-machine du siècle dernier, les divers modèles du

fonctionnement de l'homme se calquent au moins partiellement sur les dernières percées théoriques ou technologiques. Un exemple illustre : Babbage, concepteur d'une machine extrêmement complexe pour l'époque (aujourd'hui tenue pour l'ancêtre des ordinateurs) voyait, dès 1832, dans les mouvements des rouages et des leviers, une première forme de pensée synthétique. Comme si, la vie étant associée aux systèmes les plus complexes connus de l'homme, son imitation devait s'appuyer sur des techniques humaines d'une complexité sinon égale, du moins sans égale dans le champ du savoir. L'objectif décrit comme « La production de simulations même partielles du vivant » se voit ainsi abordé soit par des techniques sophistiquées poussées aux limites — *soit par l'ajustement des définitions du vivant* de façon à les rendre techniquement accessibles. L'image de la vie dans le champ scientifique fluctue selon ce dialogue permanent entre techniques et définitions.

L'homme-machine était un modèle du fonctionnement physique du mécanisme humain. La simulation s'oriente maintenant vers la reproduction de mécanismes psychologiques : actes réflexes, apprentissage, perception, mémoire. Au rythme des développements de ces expériences, les modèles cérébraux, cœur de ces mécanismes, sont devenus cerveau séquentiel, mémoire holographique, structure cérébrale UCT-périphériques. Il est difficile de nier le fait que toute découverte humaine nous informe sur l'homme : elle nous renseigne sur les possibilités du cerveau, et éventuellement sur les structures de la pensée. Mais par un glissement récurrent, ce que nous dit l'invention des structures cérébrales, question déjà fort complexe, disparaît dans l'assimilation du cerveau à l'invention.

CONJECTURE II DE L'ÊTRE HUMAIN :

LA CONJECTURE I DE L'ÊTRE HUMAIN EST UN MODÈLE QUI REND COMPTE DE L'ÊTRE HUMAIN.

La capacité d'apprendre, les mécanismes d'acquisition de connaissances, sont actuellement au cœur du champ des sciences

cognitives, domaine fort en vogue soutenu par l'extension récente des techniques informatiques appelées « réseau de neurones » et « algorithme génétique ». Ces deux techniques permettent de concevoir des mécanismes qui élaborent progressivement des réponses de plus en plus adaptées à une situation donnée (qui « apprennent de leurs erreurs »). Parce qu'absentes du système au début de l'expérience, ces réponses sont considérées comme une « connaissance émergente ».

Il est difficile de savoir si c'est l'apparition de ces modèles qui a déterminé l'importance de la capacité d'apprentissage dans la définition du vivant, ou si c'est au contraire cette importance qui a poussé les chercheurs à développer de tels modèles. Mais dans les deux cas, cette capacité est vue comme une composante essentielle de la définition du vivant. Sans être prévu pour une situation en particulier, un système qui apprend s'adapte, en un temps plus ou moins long, à un très grand nombre de situations. Chaque mise en contexte provoque l'élaboration d'un nouveau type de comportement. C'est ce comportement que les spécialistes des sciences cognitives décrivent comme une « connaissance » acquise par la machine.

Mais une main attrape Rebecca et la secoue comme un prunier, la main d'un gros homme ventru tout rouge en tablier bleu avec des yeux en boule de loto, qui lui montre un panneau qui dit de ne pas marcher sur les pelouses, mais elle ne lit ni l'anglais ni le français, et qui crie très très fort qu'elle va tuer les arbres si tout le monde fait comme elle. Rebecca pleure, elle a très peur et le gros homme arrête de crier et la ramène vers le chemin. Il la pose sans douceur sur un banc, et dit d'une très grosse voix aux deux fillettes « que je ne vous y reprenne plus ».

Marie-Lou s'approche de son amie mais Rebecca pleure, elle est très fâchée, elle pense que Marie-Lou a fait exprès de l'envoyer sous l'arbre comme le gros homme passait, elle dit « You naughty girl, I'm going home, you're not my friend anymore » puis elle part en courant chez elle, laissant Marie-Lou complètement désemparée sur le banc.

C'est là un changement de paradigme. Postuler chez les êtres à comportement adaptatif l'existence de structures souples, potentiellement ajustables à un très grand nombre de conditions, bouleverse notre vision du vivant. Elle rend impossible toute définition d'un organisme coupé de son environnement. Si les structures d'apprentissage sont au départ présentes, elles ne se stabilisent qu'après ajustement au contexte. Un nouveau contexte engendre un nouveau processus de stabilisation. Le programme informatique est remplacé par un engramme d'apprentissage, structure apte à générer une infinité de programmes. L'organisme avant mise en contexte n'est pas terminé. Il ne se *finit* qu'après adaptation, et *du fait* de cette adaptation. Une mise en contexte différente générera un organisme différent. Loin d'être définitivement fixée, *l'identité de l'organisme devient un processus dynamique.*

De façon paradoxale, l'origine de ce paradigme à saveur écologique intégrale est en grande partie informatique. Elle est issue des énormes difficultés rencontrées par les informaticiens pour programmer des systèmes susceptibles de fonctionner dans une grande variété d'états imprévisibles. La réalité propose à chaque instant un nombre vertigineux d'états possibles, et le nombre d'états internes du système peut devenir également gigantesque. Faire fonctionner un système dynamique tel qu'un robot dans une gamme même limitée de conditions mal connues requiert de sa part la capacité de répondre à un nombre immense de circonstances potentielles.

Cet objectif est par essence irréaliste. Le nombre des états à prévoir devient très vite extraordinairement élevé et augmente de façon exponentielle dès que de nouvelles familles d'états sont envisagées. C'est « l'explosion combinatoire », convolution d'exponentielles qui ingurgitent les plus grands nombres jamais utilisés par l'espèce humaine. Le stockage matériel de telles quantités d'informations, même en supposant la réalisation des mémoires les plus compactes théoriquement possibles, demanderait un espace si gigantesque qu'aucun cerveau animal, humain ou synthétique ne pourrait en contenir plus d'une fraction infinitésimale.

CONJECTURE III DE L'ÊTRE HUMAIN :

LA CONJECTURE I DE L'ÊTRE HUMAIN REND COMPTE DE L'ÊTRE HUMAIN
NONOBTANT LA CONJECTURE II DE L'ÊTRE HUMAIN.

Mais la combinatoire, à l'origine de cette impasse, offre également une issue. Le nombre de combinaisons possibles entre les éléments d'un système est très supérieur au nombre de ces éléments. Un exemple simple : les vingt-six lettres de l'alphabet ne permettent de symboliser directement que vingt-six objets. Leur combinaison en mots, puis en phrases, donne un système nettement plus efficace. S'il est possible de préparer les éléments d'un système de façon à ce qu'ils puissent se connecter de diverses façons les uns aux autres, une unité d'information pourra correspondre non pas à un élément, mais à un état des connections du système. C'est à ce type de mémoire que, par analogie entre connections et axones, on donne le nom de « réseau de neurones ».

Marie-Lou est triste, elle ne veut pas rentrer. Elle marche sans but et sort du parc sans trop sans apercevoir. Deux garçons qui passent lui lancent un ballon, comme ça, pour rire, mais elle n'a pas envie de rire. Arrivée au bout de la rue, elle traverse le boulevard, et poursuit sa marche sans but.

Deux pigeons qui roucoulent lui font dresser l'oreille. Perchés sur une corniche au premier étage, ils se frottent amoureusement la tête, insensibles à ces deux yeux noirs qui se sont subitement tournés vers eux. C'est sûr qu'ils font de drôles de bruits, qu'ils ont de curieuses manières, on dirait qu'ils s'embrassent. Elle siffle quelques notes, pour voir s'ils vont réagir comme les poules de son oncle. Ça ne rate pas : ils dressent la tête, leur œil rond et fixe balaie le paysage, ils s'oublient l'un l'autre et s'éloignent sur la corniche. Elle siffle encore, ils s'immobilisent, comme pétrifiés ; elle se tait, ils repartent. Elle dit je suis le général Tourterelle, quand je siffle vous vous arrêtez, quand je me tais vous marchez, et ça marche, ça marche longtemps, les deux oiseaux obéissants avancent en pointillé le long de la façade, lorsqu'ils

arrivent au bout ils font demi-tour, ils jouent avec elle et elle oublie son chagrin.

Un nom aussi chargé ne manque pas d'entraîner de nombreux glissements. Dans un recoin du cerveau des spécialistes et de bien d'autres personnes brille toujours cette fascination pour les mécanismes qui simulent la vie. Les appellations que l'on rencontre dans le domaine (cf. « vie artificielle ») démontrent que le fonctionnement de ces mécanismes est associé dans l'imaginaire à de véritables processus biologiques. Le rêve séculaire de pouvoir donner la vie, traduit dans d'innombrables mythes et traditions populaires, trouve ici une forme nouvelle. Gepetto qui sculptait Pinocchio dans des retailles de bois n'avait pas d'autre espoir : que son pantin inanimé prenne vie, et devienne un vrai petit garçon.

Parmi les expériences sur les réseaux de neurones, on trouve çà et là une araignée qui apprend à marcher, un animal perdu dans un labyrinthe, un commis voyageur qui cherche à raccourcir son trajet entre plusieurs villes : autant d'expériences impliquant l'homme ou l'animal virtuel. Plus explicites encore, les étonnantes suggestions amenées par un autre spécialiste du domaine, qui, se voyant à l'orée d'une genèse véritable, déclare en toute bonne conscience que l'évolution des sciences de la cognition permettra éventuellement de « reconsidérer nos définitions du vivant et donc de relativiser des notions comme l'euthanasie et l'avortement ⁴ ».

4. Conclusion d'une communication prononcée à la conférence CACS 1992, Aix-en-Provence. Le nom de l'auteur de cette citation est délibérément soustrait de la publication. Ce qui est préoccupant n'est pas l'ensemble des errements d'un ou de plusieurs individus, par ailleurs fort brillants (il y en eut bien d'autres lors de cette conférence), mais le fait qu'il existe un domaine de connaissance dans lequel de tels énoncés soient non seulement possibles mais acceptés sans susciter de réactions.

COROLLAIRE I DE LA CONJECTURE I DE L'ÊTRE HUMAIN :

LES MÉCANISMES CRÉÉS PAR L'ÊTRE HUMAIN POUR SIMULER L'ÊTRE HUMAIN
NE SIMULENT PAS L'ÊTRE HUMAIN.

Que la science s'intéresse au mécanisme du vivant est légitime. Qu'elle s'introduise ainsi dans le domaine de l'éthique est pour le moins déplacé. La simulation du vivant semble bel et bien confondue avec la genèse d'organismes doués d'une vie véritable. Le scientifique devient créateur — et lorgne vers la puissance du Créateur tout-puissant qui, en plus de donner la vie, rédige les tables de la Loi. De là ce changement majeur : le jour où l'homme saura fabriquer la vie, elle perdra son statut mythique (pour ne pas dire : « elle perdra de l'importance »). Les actes à haute charge éthique, tels que l'euthanasie et l'avortement, pourront enfin être considérés de façon plus sereine : il deviendra moins grave de supprimer des être vivants ⁵, *puisque'on pourra en faire d'autres*.

On ne peut que spéculer sur les prémisses qui conduisent à des conclusions aussi aberrantes. En plus des glissements évoqués ci-dessus, elles semblent se baser directement sur deux inversions qui renvoient à la question tautologique évoquée au début de cet essai, et moins directement sur une poétique visionnaire de la démarche.

La première inversion consiste à déclarer que si l'on peut effectivement réaliser des appareils que l'on appelle des réseaux de neurones, c'est que le cerveau est lui-même un réseau de neurones ⁶. L'identification de ces deux concepts homonymes conduit à ne trouver entre les réseaux de neurones cérébraux et électroniques qu'une différence d'échelle et de nombre. L'avancement de la

5. Quelle que soit l'opinion personnelle que l'on peut développer sur la question, les fœtus et les malades en coma terminal sont, pour les opposants à ces actes, des êtres vivants.

6. Personne, à l'audition d'une telle phrase, ne sursaute : le cerveau est *bel et bien* un réseau de neurones.

technologie et la miniaturisation progressive permettront de réaliser des systèmes cérébraux de plus en plus performants et de plus en plus proches de celui de l'homme.

L'autre inversion est plus abstraite. Rien ne permet à priori de supposer que les engrammes d'apprentissage de ces systèmes aient quelque chose à voir avec ceux du cerveau. La ressemblance formelle entre les processus d'adaptation de la machine et le comportement d'un être vivant en phase d'apprentissage est frappante. Assister à l'élaboration d'une forme de marche par une araignée virtuelle sur un écran cathodique rappelle inmanquablement les premiers pas d'un chiot ou d'un nourrisson ; mais supposer qu'à ce spectacle formellement identique corresponde un processus interne apparenté est une hypothèse distincte.

Parler dans le cas d'une machine de « connaissance émergente » est une réduction à l'extrême de la notion de connaissance. Elle est ici confondue avec l'acquisition d'un comportement physique, développé par un mécanisme d'action-réaction fort standard. De plus, par rapport à un être vivant évolué, la « connaissance » acquise par le système est en fait *dictée* par l'expérimentateur. L'ensemble du mécanisme est intentionnel, et ne possède de libre arbitre que celui qui consiste à choisir la meilleure façon d'exécuter une instruction. Mais ces deux inversions ne sont que le reflet d'une autre, plus profonde : celle qui consiste, après avoir créé un modèle de fonctionnement cérébral, à considérer le modèle comme une réalité dont notre propre cerveau devient à son tour un modèle.

Et soudain Marie-Lou oublie même les oiseaux, il y a près de la porte une plaque de pierre noire, lisse comme un miroir, avec des lettres toutes dorées qui épellent de très longs mots. Ça c'est encore plus intéressant, elle se dit voilà des mots que je voudrais bien savoir, et lettre par lettre elle forme sa bouche aux sons qu'elle essaie de comprendre.

Elle se concentre, elle n'y comprend rien, qu'est-ce que c'est que ces mots, ça n'est tout à coup pas drôle de ne pas tout savoir. Elle enregistre bien fort dans sa tête les suites de syllabes qu'elle

a lues, se les répète et répète encore, elle demandera à sa mère et si elle sait pas à la maîtresse, et quand elle est sûre de ne rien oublier, se dirige vers sa maison en scandant consciencieusement sa curieuse récitation.

Mais de-ci de-là une syllabe s'échappe, tombe de sa bouche, et quand elle essaie de la rattraper elle s'est un tout petit peu transformée, oh pas beaucoup, mais quand elle est tombée quatre ou cinq fois elle commence à être moins sûre. Elle essaie de les dire à voix très haute, très lentement, mais les syllabes ne veulent pas se laisser capturer dans sa tête. En désespoir de cause, elle essaie de les chanter sur une petite mélodie. Et là d'un seul coup tout tombe en place, tout, les mots, les liaisons, les syllabes, elle a trouvé, ce sont les mots d'une comptine, une comptine qu'elle n'oubliera plus parce que la musique lui rappelle les mots et les mots la musique. Peu importe si quelques sons ont un peu changé depuis la plaque de marbre, la comptine elle ne changera plus.

En arrière de toutes ces tentatives se profile une vision quasi mythique, celle de mécanismes susceptibles de simuler à s'y méprendre les comportements humains. Une ultime machine de Turing : faire croire et se faire croire à tout prix, par une démarche formaliste poussée jusqu'à l'absurde, que ce qui trompe la perception et simule la logique trompera également les sentiments et les émotions. Les systèmes à « connaissance émergente » manifestent une autonomie à traiter les problèmes en soi fascinante. Ils deviennent quasiment mythiques lorsqu'on s'attarde un instant à méditer sur les zones obscures au sein desquelles se déroulent ces processus.

L'homme n'intervient pas directement sur ces zones, strates intermédiaires des réseaux neuronaux parcourus du scintillement de connections fugaces, et qui transforment des informations sur le monde en entités intangibles. À l'issue de cette gestation électronique, des propositions de comportement sont confrontées au contexte. En cas d'inadaptation, elles retournent dans les limbes semi-conductrices du réseau.

Il n'est pas difficile d'envisager que de tels organismes puissent susciter chez l'homme une véritable sympathie. Ce sont les premières

entités artificielles qui possèdent de véritables régions cachées, lieu d'une maturation inconnue même du concepteur. Des régions qui éveillent des images d'inconscient synthétique, et nous font sentir soudainement très proches d'entités entièrement fabriquées. Entre les connections des neurones électroniques et les scintillements de nos propres axones, l'analogie est immédiate. Et si l'inconscient est une richesse de l'espèce humaine⁶, les limites qu'il impose à notre comportement sont ressenties par beaucoup comme un handicap. Ce curieux organe des nouvelles machines les rend à la fois riches et imprévisibles — et déclenche aussi une certaine méfiance : le libre arbitre fictif qu'il leur permet est automatiquement associé à un pouvoir décisionnel, pouvoir d'autant moins rassurant que la machine elle-même ne le contrôle pas totalement. L'un des lieux communs les plus répandus de l'informatique, selon lequel un ordinateur ne contient que ce qu'on y a mis, est devenu définitivement caduc.

Si vertigineuse que soit cette vision, elle ne doit pas masquer le fait que tout système créé de main humaine naît, à l'origine, d'une intention. Une intention qui transparait dans l'ensemble des définitions préalables à la fabrication du système, qui fixe ses potentialités, ses capacités et ses fonctions. Et que par conséquent, l'identification d'un système fabriqué à un être vivant suppose la vie elle-même comme résultat d'une intention. Une ligne de pensée difficile à maintenir : les intentions d'un être humain qui désire simuler un être vivant sont humaines, et accessibles à l'homme ; il serait présomptueux d'en dire autant de celles qui pourraient être à l'origine de la vie en général. Qu'aurait d'humain un homme fabriqué à partir d'intentions humaines ? Probablement pas, entre autres choses, un libre arbitre enviable : s'il y a intention à la base d'un système, cette intention est d'ores et déjà orientée, et le destin du système partiellement fixé par le concepteur. Il y a fort à parier que ce dernier accordera difficilement une autonomie totale à sa machine : cela impliquerait d'abord une abnégation démesurée

7. Rien dans cette proposition ne doit laisser penser que l'auteur voit l'inconscient comme plus susceptible que la conscience de fournir une définition de l'homme.

face à l'effort fourni ; ensuite, la détermination des limites du libre arbitre d'une créature synthétique. Le concepteur devra lui-même définir ces limites : elles seront donc d'origine humaine, et basées sur une notion humaine de la liberté — et ce, bien que le problème inextricable qui consiste à établir les limites de la liberté humaine soit loin d'être résolu.

La « connaissance émergente » artificielle a des implications au niveau de ce qui est permis au système : on ne peut prévoir le comportement qu'adoptera ce dernier dans telle ou telle situation ; mais on sait d'emblée que plusieurs réponses n'apparaîtront jamais. Le champ des réactions est limité par le concepteur. Non seulement la connaissance émergente humaine est infiniment plus variée et plus vaste, mais elle possède des caractéristiques incompatibles avec les hypothèses qui sous-tendent les systèmes intentionnels fabriqués aujourd'hui. Il serait irréaliste — et toujours tautologique — de prétendre cerner l'ensemble de ces caractéristiques. Mentionnons simplement une observation fréquente : le cerveau humain fabrique du sens *quoi qu'il advienne*, à partir d'une information entrante et d'un bagage acquis ; *il n'est pas pour lui fondamental que ce sens ait un rapport avec celui qui est éventuellement présent dans l'information*. Ce qui semble compter est le fait même de *produire* du sens et de *construire* une réalité, qui ne correspond pas nécessairement à la réalité qu'aurait déduite un autre cerveau. Ainsi, les enfants qui jouent évoluent allègrement dans un monde d'informations construites de ce qu'ils savent et de ce qu'ils perçoivent, et qui n'a pas grand-chose à voir avec le monde des adultes ; ainsi les scientifiques, et parmi eux, ceux qui travaillent sur la vie artificielle, engendrent une réalité construite des objets qu'ils fabriquent. Mais les conséquences, dans ce second cas, sont nettement plus critiques.

COROLLAIRE II (dit « corollaire phonétique ») DE LA CONJECTURE III DE L'ÊTRE HUMAIN :

LES MÉCANISMES CRÉÉS PAR L'ÊTRE HUMAIN POUR SIMULER L'ÊTRE HUMAIN STIMULENT L'ÊTRE HUMAIN À S'IDENTIFIER À CES MODÈLES. LES DÉCEPTIONS ENTRAÎNÉES PAR CETTE IDENTIFICATION STIMULENT L'ÊTRE HUMAIN À DÉVELOPPER D'AUTRES TYPES DE SIMULATION.

S'il faut en croire l'ensemble des réactions potentielles du cerveau devant une situation donnée, un cerveau simulé aura fatalement des réactions imprévisibles, illogiques ou aberrantes. Essayer d'éliminer ces réactions, dans le but de créer un cerveau docile et prévisible, donnera quelque chose d'intéressant peut-être, mais qui n'a rien à voir avec l'objectif recherché. Distorsions, contre-interprétations, inversions de sens, déviances et monstruosité sont caractéristiques de notre matière grise : elles devront apparaître dans tout système cérébral artificiel. Le problème se heurte ainsi à sa propre inutilité : on voit mal comment l'intentionnalité qui préside à la genèse de cet artefact se satisferait d'un tel résultat. Et même si ce mécanisme venait un jour au monde, les incroyables moyens mis en œuvre, le degré d'avance technologique requis, les immenses ressources humaines et matérielles nécessaires seraient difficilement justifiables : utilisant des méthodes qui leur sont propres, sans faire appel à aucun outil, et dans une très grande économie de moyens, les humains, même les plus démunis, fabriquent depuis l'aube des civilisations d'autres humains — des humains qui correspondent en tout point à l'ensemble infini des définitions de l'homme.

Marie-Lou retrouvera bientôt Rebecca pour lui apprendre sa comptine et elle chanteront toutes les deux, et c'est presque en dansant qu'elle se dirige vers sa maison. Les passants qui la regardent s'étonnent de cette demoiselle qui toute gaie rythme ses sautillements des vers de sa curieuse chansonnette :

*Un petit chat nommé O'pat,
Il s'était tout toasté aux pattes,*

*Il avait le soir au lit ce tic,
De sauter sur la terre à pic.*

Les deux pigeons enfin tranquilles reprennent leurs amourettes sur leur corniche ornementée. Manifestant pour l'occasion une politesse de circonstance, l'un d'eux lève les plumes de sa queue au-dessus du vide et lâche une fiente. Celle-ci frôle en tombant la plaque noire, zébrant d'un trait blanc les lettres dorées qui, stoïques sous l'insulte, proclament avec toute la distinction souhaitable :

A. P. SICHAN, HOMÉOPATHE
I. TETOUT, OSTÉOPATHE
SPÉCIALISTES EN SANTÉ HOLISTIQUE
NOUVELLES THÉRAPIES

L'architecture du goût

Chaque époque a ses agonies favorites. La nôtre préfère les agonies aseptiques et technologiques à celles, hygiéniques, d'il y a cent ans, vécues sur un mode idéaliste.

Le XVIII^e siècle, quant à lui, se permettait le luxe des agonies littéraires et voluptueuses. Le privilège de mourir dans les fastes d'un grand banquet : gibiers servis entiers, crustacés, feuilletés et truffes, saumon nappé de sauces extravagantes et corbillons de fruits multicolores faisaient partie de cette ambiance où les convives, aux sens surexcités, espéraient l'instant féérique.

Le XIX^e siècle semble s'être imaginé qu'en étudiant le monde il le comprendrait. Nous savons que ce fut une vaine prétention pour un dessein exagéré. Par exemple, à la fin de ce siècle-là, il ne restait plus aucune espèce végétale comestible à découvrir, si ce n'est peut-être la « Golden », dont les manipulations génétiques finiront par aboutir à cette pomme artificielle et au nom célèbre. L'argument développé par les horticulteurs Bois et Pailleux est le suivant : bien évidemment, chacun sait de quoi se compose le

repas d'un pauvre ; et « quel légume les Japonais pauvres ne mangent-ils pas ?¹ ». Sachant que les pauvres existent partout, la conclusion se déduit d'elle-même.

Si l'argument précédent ne se limite pas qu'au Japon, ce fut grâce aux jardins, répartis dans de nombreux pays, où se reproduisirent les graines que les savants des deux hémisphères s'échangeaient par courrier. L'ampleur de l'exotisme se limitait alors à une corbeille pleine des fruits cultivés dans les contrées lointaines. Éloignement géographique. Distanciation des saveurs. Dans le jargon actuel du *software*, un repas a une saveur exotique s'il sait créer un registre dans la mémoire gustative, celle-là même, complexe, où l'on garde la pointe verte de l'asperge à côté de la masse craquante du pithiviers.

Linné classifia, entre autres choses, les saveurs. La dissection moderne, technique et spécialisée, a jugé incorrect de comparer le sucré, une saveur, avec le nauséabond, une odeur. C'est la maîtrise secrète des technologies des aliments, les horlogeries du goût. La recette est bien connue : les changements de saveur doivent être imperceptibles, subtils. Toute violence est bannie, car une erreur coûte très cher. Ainsi, petit à petit, le nom et l'aspect demeurent, mais le poulet n'est plus le même. Et dans le dictionnaire de la famille des saveurs, odeurs, formes et textures culinaires, il ne reste plus de pages blanches pour la fantaisie et l'exotisme.

Il y a quelques années, une revue, préoccupée par l'obésité écrivait, sans aucune intention pornographique, que « *variety, in taste and texture of food, is certainly one of the greatest appetite stimulants*² ». Elle conseillait ainsi aux obèses bien portants, figures emblématiques de ces petites villes nord-américaines, de manger principalement une nourriture ennuyeuse, monotone et répétitive. Disposition inutile, recommandation superflue et décision paradoxale. Car la variété, en ce qu'elle est véritablement diversité, n'existe

1. *Le Potager d'un curieux*, Paris, Librairie de la maison rustique, 1899, p. x.
2. H. Jordan & A. Eytton, « Temptations », in *Slimming magazine*, 1979, 62 : 86.

nulle part ailleurs que dans la rhétorique de la publicité. Les nourritures, elles, sont toutes les mêmes : molles, crémeuses, lisses, indéfinies, fluides, faciles, géométriquement simples — un raccourci de tout ce qui se termine en rien.

Même les merveilleuses formes artificielles ont disparu. Les moules à gâteaux en fer blanc inspirés de l'architecture classique, et la macédoine de gélatine brillante aux ordres de Vignole ont été remplacés par des abstractions théoriques comme la *mousseline de grenouilles au cresson de fontaine*³. Et, côté grand public, la vedette, le Michael Jackson de l'alimentation : le yaourt. La métaphysique : les nouveaux fruits parfaits, presque idéaux⁴.

On pourrait parler de l'évolution de la nourriture, de la gastronomie et des menus du restaurant. Après Darwin, il existe une explication *prêt-à-porter*⁵ pour tout. Du progrès : le temps linéaire de l'évolution ; de la structure sociale du monde : les mécanismes de la sélection naturelle. Avec l'aval de la théorie de l'évolution, on pourrait jeter les bases d'une architecture du goût. Pourquoi pas. Personnellement, je préfère l'analogie. L'évolution a pour sujet l'espèce. Mais elle suppose la possibilité de changement. Sans cette possibilité, elle n'est autre qu'un discours ridicule. Je préfère l'analogie de l'évolution culturelle, avec, comme possibilité de changement, celle de toutes ces croyances que partage à un moment donné un groupe de personnes.

3. En français dans le texte.

4. L'apparition et la multiplication de nouvelles variétés de fruits et légumes ne répond pas à des ambitions métaphysiques, mais à des stratégies lucratives. D'abord c'est l'insecticide, et ensuite vient le fruit. Graines et insecticides appartiennent aux mêmes multinationales. Sur ce sujet, pour de plus amples détails, se référer à Robert-Ali Brac de la Périère, « La révolution des semences pourrait améliorer toute l'alimentation humaine », in *Le Monde diplomatique*, mai 1990, p. 26-27.

5. En français dans le texte.

Nos grandes utopies sont l'univers des images de la télévision : allégories de l'Éden et reconstitutions commerciales du Paradis. Mais, au-delà des écrans, la monotonie, l'ennui et la lassitude composent le *spleen* complexe à la mode⁶. Je lis avec nostalgie que, lorsque François Jacob était enfant, il voulait avoir deux bouches, l'une pour manger ce qui avait bon goût, et l'autre pour ce qui avait mauvais goût. Il semble que ce fut il y a longtemps, car, à présent que tout a le même goût, une seule bouche suffit amplement. Évolution ? Existe-t-il encore quelque possibilité de changement ?

Imaginons un dîner dans une atmosphère Greenaway. Quelque chose se produit. Une dame confond le café avec le chocolat et, pour un Suédois, les friandises ont un goût salé. Dans cette tour de Babel des saveurs, toute conversation deviendrait impossible.

D'habitude, ces perversions du goût étaient considérées comme des maladies, ou résultaient des propriétés mystérieuses de certaines plantes qui, en inhibant la sensation de douceur, rendaient le sucre comparable au sable et un citron synonyme d'une orange.

La diversité des goûts est une métaphore de la diversité des individus. La monotonie des saveurs, qui censure toute surprise, est une conséquence de la vaste monotonie générale de fond. Et pourtant, la diversité des individus est un moteur de l'évolution de l'espèce, comme celle de l'opinion est un moteur de la connaissance⁷.

6. L'ennui semble ne convenir à personne. D'une part, un monde homogène du point de vue économique est perçu avec prudence et méfiance par la CEE, les Japonais et les Américains. Ainsi s'explique la défense des auto-intérêts économiques par la différence culturelle. D'autre part, l'organisation de la vie sur Terre est conditionnée par le changement et la différence en tant que force motrice. Ainsi, face à la menace des fantômes pour sortir de la monotonie, même un porte-parole du néo-libéralisme en vint à écrire que : « *A new left is badly needed. The end of communism has left the world standing, as it were, on one leg. The forward march cannot be resumed until the other leg is back in healthy operation.* », in *The Economist*, 21.12.1991, p. 11-12.

7. La variété et la diversité comme propulseurs de l'évolution biologique est une conclusion de François Jacob dans *Le Jeu des possibles*, Fayard, 1981, p. 109 et

Par conséquent, en dépit de l'uniformité des saveurs et malgré l'abandon de la diversité, il reste encore un pari pour l'évolution : le pari de la perversion du goût, de tous les goûts.

Traduit de l'espagnol par Lucila Ceja Aguilar

suivantes. Les versions culturelles de la variété et de la diversité, ainsi que leurs avantages, sont discutés et expliqués avec intelligence par Feyerabend dans *Adieu la raison*, Seuil, 1989, p. 27-108.

Idée de vie et modèles biologiques dans la pensée de Nietzsche

La singularité de Nietzsche dans l'histoire de la pensée tient au fait qu'il a assumé ce qu'il a considéré comme la condition, sue ou insue, de toute philosophie authentique : une possibilité de penser qui est inséparablement une possibilité de vie. La résolution de voir dans toute forme de connaissance l'expression d'un ensemble d'évaluations caractéristiques d'une forme de vie fera du philosophe un généalogiste et un « expérimentateur » (traduction approximative du terme « *Versucher* », qui connote aussi pour Nietzsche les notions de tentative et de tentation). S'il s'agit pour le généalogiste de reconstituer les conditions de vie d'où provient l'activité conceptuelle et discursive, quel que soit son objet, on doit donc s'attendre à une extension de la méthode d'analyse généalogique des évaluations morales au-delà de l'histoire de la morale *stricto sensu* — la morale fournissant en quelque sorte le banc d'essai de la généalogie et le paradigme des discours. Mais la mise en œuvre de cette méthode critique ne va pas sans l'utilisation de certains modèles biologiques, ni sans quelque idée de la vie et de l'évolution, et on a pu s'inquiéter

de l'importation de ces modèles et de cette idée dans le champ de la culture et de l'histoire. À bien examiner l'usage que fait Nietzsche des notions biologiques, on s'aperçoit pourtant que bien des contresens sur les fameux thèmes de la volonté de puissance et du surhumain pourraient être évités pourvu que l'on fasse crédit au penseur d'une certaine cohérence, et que l'on cesse de dissocier trois expressions d'une même recherche : l'« immoralisme » ; la vie comme activité plurielle, en dehors de toute téléologie ; et la conception « tragique » de l'évolution. L'incompatibilité de la pensée de Nietzsche et d'une quelconque sociobiologie apparaîtra alors clairement.

L'immoralisme du généalogiste

L'une des questions initiales posées par Nietzsche à la philologie de son temps est relative à la volonté de vérité des penseurs grecs : d'où provient cette fameuse véracité qu'ils ont fini par attribuer à la nature même de l'esprit ? « La volonté de vérité a besoin d'une critique (...) ; il faut essayer une bonne fois de mettre en question la vérité elle-même ¹. »

Aux genèses naïvement utilitaristes qui tendaient à rendre compte de la recherche de la vérité par la volonté de ne pas se tromper ou de ne pas être trompé, la généalogie du langage et de sa législation va substituer une recherche sur l'activité métaphorique qui aboutit, dans chaque type de vie sociale, aux désignations convenues : telles perspectives préjudiciables, telles formes de sociabilité seront bannies comme aberrations ou mensonges. Il faudra considérer des actions individualisées, et par conséquent différentes, comme participant à une même essence ; et par abandon des différentes avec le nom « honnêteté », nous inventons une « *qualita occulta* ² ». La volonté de vérité s'origine ainsi dans « l'obligation de mentir selon une convention ferme, un style contraignant pour tous ³ ».

1. *Généalogie de la morale*, III, 24, Gallimard, 1976.

2. *La Vérité et le mensonge d'un point de vue extra-moral*, III, Gallimard, 1975.

3. *Ibid.*

Dès la formation de la langue, une volonté œuvre dans le sens d'une dépréciation du monde vivant et mouvant des intuitions et des images. À l'aube de la pensée théorique, la sourde morale de la convention impose déjà la négation et l'oubli de la vie du langage : la multitude des perspectives abandonnées vient peupler la zone réprouvée de l'« apparent », du « faux », de l'« illusoire ». En fin de compte, ce que le langage discursif écarte comme étranger au monde du sens et de la vérité, c'est l'expérience du corps vivant, le monde bruissant des différences qualitatives et des transpositions déjà effectuées par le système nerveux : transposition d'un son en excitation spécifique et de celle-ci en image, et enfin représentation de cette forme par un son articulé ; telles sont, remarque Nietzsche, les métaphores qui permettent de passer de la sensibilité au sens linguistique⁴.

Ces premières notations sur la généalogie du langage et de la volonté de vérité qui s'y enracine nous font percevoir une hypothèse qui est comme la pensée-mère de Nietzsche : la législation du langage (aussi bien la syntaxe que la sémantique) conduit la connaissance à se développer au rebours de la vie et au bénéfice des formes normales (Nietzsche emploie le terme, plus polémique, de « grégaire ») de l'existence assujettie aux impératifs de la soumission et des échanges. Et si la métaphysique et la morale ont partie liée dans une même condamnation de la généalogie, c'est parce que leurs racines se trouvent dans le processus de formation du langage, dans la fixation des concepts et l'illusion essentialiste qui s'attache à eux. C'est dans le langage, en effet, que se forme l'habitude invétérée d'esquiver les questions relatives à l'origine et au sens vital des choix qui sous-tendent toute conceptualisation. La morale, dont Nietzsche fera la généalogie, ce n'est pas seulement un système d'évaluations qui fait prévaloir certaines dénominations (le bien et le mal) sur d'autres (le bon et le mauvais), en imposant la culture du ressentiment comme norme et comme médication, c'est aussi un discours, le discours par excellence sans doute, si

4. *Ibid.*

on entend par là une représentation cohérente, à des fins de maîtrise d'une réalité dont la fluctuation et la pluralité doivent être oubliées. Si la morale (n'est (qu'un) discours, tout discours, y compris scientifique, est moral en ceci qu'il n'en impose pas seulement par la simple vertu de ses fondements rationnels, mais parce qu'il répond à une méfiance ou à une sourde hostilité à l'égard de la vie, en tant qu'activité qui met en jeu une pluralité de forces et d'interprétations.

Tel est le sens premier de l'« immoralisme » de Nietzsche ; il consiste à reconnaître ceci, que « depuis que l'on parle et que l'on persuade sur terre, la morale s'est affirmée comme la plus grande maîtresse de séduction ⁵ ». Véritable « Circé des philosophes ⁶ », la morale met en œuvre tous les mécanismes de défense et de travestissement de la réalité que les hommes ont pu trouver pour rendre la vie représentable. Être immoraliste au sens de Nietzsche, c'est donc être généalogiste, c'est être capable de « descendre en profondeur, de tarauder la base, de saper la vieille confiance (...) en la morale ⁷ ». Aussi le langage de la généalogie prendra-t-il le contre-pied du langage solennel du discours, ce socle sur lequel la critique a longtemps buté, pour s'être maintenue dans les limites de la convenance imposée par les normes discursives du vrai. Que veut le discours causaliste, quand il prétend rendre compte d'un comportement ou d'un organe ? demandera le généalogiste ; et il ne s'agira pas de répondre, comme le fait la critique kantienne, par une catégorie ou une faculté, puisque ce qui est en cause ici, c'est le sens d'une activité interprétative, et qu'il n'est plus question de présupposer une structure universelle de la connaissance et de l'action, lorsqu'on cherche à retrouver les singularités, la pluralité mouvante et conflictuelle des forces qui ont dû s'affronter avant le triomphe du concept.

On aurait donc tort de comprendre les fameuses oppositions des textes généalogiques (présocratique-socratique, aristocratique-

5. *Aurore*, avant-propos, Gallimard, 1970.

6. *Ibid.*

7. *Ibid.*

plébéien, païen-judaïque, romain-chrétien, actif-réactif, etc.) comme l'indication d'un autre discours, d'une autre morale qui prendrait la relève de la négation de la vie (*Verleugnung*) et mettrait un terme à la décadence, ou au « nihilisme » de la culture fondée sur la morale, en opérant un simple renversement de perspective, en faisant simplement prévaloir la série « noble » et « active » sur la série « grégaire » et « réactive ». Ce serait méconnaître l'intention majeure de la généalogie, repérable dans l'usage qu'elle fait du langage physiologique comme langage perspectiviste et pluralisant apte à nous déprendre du dogmatisme et du réductionnisme des discours. Que l'on relise attentivement les textes les plus polémiques, les plus âpres, dans la mise en question des différentes formes de dénégation (et de nihilisme) : on n'y manquera pas de relever de temps en temps une attitude ouverte, voire admirative, pour ce qui, dans le ressentiment ou la spiritualisation de la faute, par exemple, a pu produire, jusqu'au cœur du processus nihiliste, un rebondissement et un intérêt nouveau dans la vie. Souvenons-nous de ce passage de la *Généalogie de la morale* sur la formation de la conscience humaine par intériorisation et retournement des instincts : quelle nouveauté, quelles promesses d'avenir ! « Il eût fallu des spectateurs divins pour apprécier ce drame (...) — un drame trop délicat, trop merveilleux, trop paradoxal pour être joué sur n'importe quelle planète !... »⁸

On n'insistera jamais assez sur cette recherche d'une connivence avec l'activité plurielle de la vie, dont la scène accessible à la généalogie ne cesse de produire un jeu d'interprétations (et toute formation vivante est pour Nietzsche un compromis imprévisible et instable entre une multiplicité de forces qui font valoir leurs conditions d'existence par le biais de leurs interprétations). Ce jeu, menacé et régulé à chaque stade du nihilisme, est précisément ce qui intéresse la généalogie, dont l'horizon est cette sagesse qui donne son prix à la connaissance de la vie : ici, connaître ne va pas sans un dépassement de la passion de la maîtrise, dans ce que Nietzsche a appelé le « dire-oui » (*Ja-Sagen*), l'approbation de

8. *Généalogie de la morale*, II, 16, *op. cit.*

l'existence, sans restriction. D'ailleurs, en se présentant paradoxalement comme un « nihiliste accompli », Nietzsche ne situait-il pas la recherche généalogique comme un moment, décisif sans doute, de la longue histoire de l'esprit, cette « vie qui incise la vie », comme dit Zarathoustra ? Et n'était-ce pas encore cette fameuse « volonté de vérité » qui trouvait dans la généalogie son expression la plus audacieuse, tout en se retournant contre elle-même, contre ce qui la motivait à calomnier ou à refouler la vie ?

Le retour au « sens de la terre », le retour au « fil conducteur du corps et de la vie », c'est l'anamnèse qui permet à la volonté nihiliste de retrouver ce qu'elle avait initialement refusé de voir, en enfermant la vie et la connaissance de la vie dans le carcan des représentations dogmatiques. Un des textes les plus énigmatiques concernant la pensée ésotérique de l'Éternel Retour pourrait sans doute recevoir ici un nouvel éclairage. Il s'agit d'un fragment de *La Volonté de Puissance* :

Représentons-nous cette pensée sous sa forme la plus redoutable : l'existence telle qu'elle est, n'ayant ni sens ni fin, mais revenant inéluctablement, sans aboutir au néant : le « Retour Éternel ». C'est la forme outrancière du nihilisme : le Néant (l'insensé-*das Sinnlos*) éternel⁹.

Répétition de son origine, la généalogie de la volonté de vérité ramène au « non » initial et à la première dérobade en les surmontant. Mais cela n'a pu être possible (et nécessaire, selon Nietzsche) que par la présence insistante d'une force qui traverse l'histoire de notre culture (et singulièrement de la métaphysique) : le savoir construit par la volonté de vérité ne cesse d'être habité par la force de son impensé, par l'effort d'esquive de son propre sens. La pensée de l'absence de sens (et de téléologie) a, en dépit des efforts de dénégation et de surcompensation (et aussi en raison de ces efforts mêmes) cette présence que Heidegger nomme « par contumace ». De sorte qu'en reniant les affects et les forces qui le portent, le nihilisme est aussi constitué par ce qu'il renie. Travaillé

9. *La Volonté de puissance*, III, 6, Gallimard, 1948.

par ses origines, et par essence critique, il doit finir par poser les questions généalogiques qui mettent en cause ses constructions théoriques. Il doit désormais saisir le sens de ses interprétations (finalistes, anthropomorphiques, spiritualistes ou idéalistes) : de telles élaborations faisaient écran à l'absence de sens qu'aurait imposé la prise en compte du caractère « alogique », dangereux, de l'existence. Il nous faut donc comprendre l'immoralisme de Nietzsche non comme une réfutation (et encore moins comme un rejet pratique) de la morale, mais plutôt comme une « optique des valeurs », c'est-à-dire une mobilisation du regard qui permette de saisir les valeurs dans leurs perspectives propres comme des moyens d'assurer à chaque forme de vie ses conditions d'existence et de plasticité (et non pas nécessairement de durée de conservation).

L'immoraliste, qui n'est pas forcément immoral, est celui qui, n'ayant plus peur de la réalité, a cessé d'exorciser le caractère tragique et « dionysiaque » de l'existence¹⁰ : c'est l'homme qui a cessé de « nier la musique de la vie », et qui n'a plus besoin de « cire dans les oreilles »¹¹. Et à quoi sera-t-il désormais attentif, sinon à ces « petites choses » que sont les affaires fondamentales de la vie même, les questions de climat, de régime, de rencontre ? Que s'agira-t-il d'ausculter, sinon cela même que redoutait le discours de l'homme, et qu'il « déniait, les pulsions les plus fortes, l'effroyable texte de l'*homo-natura* »¹² ?

Ramenées à ce qu'elles interprètent en les falsifiant, les morales sont alors conçues comme un « langage chiffré des affects »¹³.

Au lieu d'imposer des axiologies binaires comme font les rationalisations discursives, la généalogie suggère « d'admettre des degrés, des nuances, des harmonies plus ou moins claires, plus ou moins sombres, des valeurs diverses pour user du langage des peintres »¹⁴.

10. *Le Gai Savoir*, avant-propos, 3, Gallimard, 1967.

11. *Ibid.*, § 372.

12. Tome VII, 7 (60), Gallimard, 1976.

13. *Idid.*

14. *Par-delà bien et mal*, § 34 et § 3, Gallimard, 1976.

Véritables « artistes de la vie », les esprits libres (ceux que la généalogie a libérés du dogmatisme) savent que la vie ne cesse d'essayer l'artifice, qu'elle se plaît à la variété des nuances de formes et d'interprétations¹⁵, au rebours de ce qu'en dit le discours téléologique.

La métaphore de la vie et de l'évolution

Depuis 1868 et les recherches sur le matérialisme antique, Nietzsche forme le projet d'une étude critique sur la téléologie. Celle-ci lui paraît le socle sur lequel bute la critique philosophique. Il était nécessaire de développer une étude intitulée « Le concept de l'organisme depuis Kant » ; mais comment ne pas remarquer la prégnance d'une métaphysique de l'unité, de l'ordre et de la finalité dans la pensée évolutionniste ?

Et quelle alternative proposer ? Suffit-il d'écarter le concept d'une « raison supérieure », comme le prétend la correspondance avec Deussen ? Treize ans plus tard, à l'époque de la « révélation » de l'Éternel Retour, à Sils-Maria, c'est encore le souci de penser la vie des vivants en termes non finalistes qui pousse Nietzsche à relire Spinoza et à reconnaître que sa conception du *conatus*, de l'effort pour persévérer dans son être, qui est l'« essence en acte de chaque chose », n'est en rien assimilable au principe (finaliste) de la conservation. Le fragment 11 (326) de l'année 1881 se termine par ces mots, qui mettent fin aux interprétations précédentes du spinozisme : « Spinoza ou Téléologie comme *Asylum ignorantiae* ¹⁶ ».

Convergeant avec la recherche d'une pensée immanentiste, pour laquelle la puissance est à elle-même sa propre loi, vouloir qui se veut lui-même sans fin externe et qui ne peut être arrêté que par un autre, quoi qu'en disent nos rationalisations, la généalogie se fait de plus en plus radicalement physiologie. *Le Livre du philosophe* l'avait d'ailleurs annoncé, sans pouvoir encore en tirer toutes les

15. *Ibid.*

16. *Le Gai Savoir* & lettre à Overbeck, 30 juillet 1881, Gallimard.

conséquences philosophiques :

« *Wahrheit und Lüge physiologisch* ¹⁷ » : vérité et mensonge d'après leurs effets (*Wirkungen*), précise Nietzsche. Il s'agit de saisir sous les discours et leurs normes de vérité les normes physiologiques qui tendent à s'imposer. Nous touchons ici au point essentiel : généralisant l'analyse du processus linguistique de transposition de l'excitation nerveuse en images et de celle-ci en mots, par schématisation et métaphorisation, le généalogiste assimile l'activité physiologique à un ensemble d'interprétations relatives aux besoins de cette collectivité de « vouloirs » qui constitue un vivant. Aussi, les métaphores physiologiques de la généalogie (la connaissance comme digestion, assimilation, excrétion, etc.) renvoient-elles à la métaphore centrale de la vie comme activité textuelle (de lecture, de déchiffrement et de traduction). En retour, il n'y aura pas moyen de dire l'activité de la vie sans métaphoriser, c'est-à-dire sans la mimer. Comme le biologiste conscient de la spécificité de sa discipline, le généalogiste sait se prémunir contre l'illusion réductionniste. Même le discours théorique devra quelque peu « accompagner » et « mimer » la réalité qu'il veut représenter : car cette réalité, en l'occurrence, tient plus de l'art que de la stricte logique.

La tâche propre du généalogiste étant de « retraduire » les discours de façon à mettre en évidence les procédés de méconnaissance, d'occultation ou de travestissement de la vie, sa visée n'est pas l'explication (l'étiologie) mais l'interprétation dans la provenance et la vie des textes, il veut retrouver l'activité qui produit « le langage chiffré du corps », et de ce point de vue, les métaphores physiologiques sont les plus efficaces qui soient, puisqu'elles suggèrent les évaluations qui sont immanentes à toute forme de vie. Car, tandis que le processus linguistique tend au concept puisqu'il se soumet à la condition sociale d'un accord des références, la vie organique implique un processus primaire : ici, il s'agit d'affects, et Nietzsche parle de « texte ressenti ». Le style intervient alors,

17. *Livre du philosophe*, I, 71, Gallimard.

et être capable de réactiver ce texte ressenti, de telle sorte que la lecture d'un texte généalogique soit pour chacun l'occasion d'une réminiscence : celle de l'histoire cachée du corps et des dispositifs de dressage et de sélection qui ont constitué son esprit comme texte chiffré. Les métaphores physiologiques marqueront l'écart entre le corps et les significations manifestes du discours, elles rendront sensibles les distorsions qui ont rendu méconnaissables l'activité primaire du corps et de l'affectivité.

Dès lors, quand il est question du corps, il ne s'agit évidemment plus de cette unité organique qu'on se plaît à représenter, selon les époques et les modèles d'intelligibilité, tantôt comme une machinerie, tantôt comme une organisation sociale ou politique, ce qui donne toujours une vie déjà formée et déjà quelque peu complaisante à l'égard des conditions de possibilité de nos discours. Il s'agit plutôt d'une multiplicité d'« instincts » dont chacun a son évaluation et sa « croissance propre », avant toute unification en une vie organique pourvue d'un « pouvoir de représentation synthétique »¹⁸. Le texte généalogique s'oppose donc aux synthèses historiques en ceci qu'il va à une activité plurielle et encore morcelée, à cet endeuça des fonctions organiques et psychiques intégrées, mimant la fortuité des rencontres et la discontinuité des interprétations successives, cherchant un langage qui ne les réduise pas à une unité de sens et de processus et qui ne fasse pas de la vie une réalité substantielle.

Aussi, le langage physiologique n'est-il jamais, chez Nietzsche, oublieux des circonstances et des configurations particulières où s'effectuent l'activité pulsionnelle et les affects : la chasse, le combat, les formes d'alliance et de filiation, les associations qui participent à l'émergence de telle ou telle forme d'organisation ou de fonction. À quelque niveau d'analyse que se situe la généalogie, qu'il s'agisse des processus qui font intervenir l'individualité sous une forme subjective ou, au degré inférieur de la vie, de la constitution d'une mémoire organique, le généalogiste insistera sur la

18. *Le Gai Savoir*, fragment posthume, 11 (269), *op. cit.* & *La Volonté de puissance*, II, 174, *op. cit.*

pluralité des « forces », des « points d'origine du mouvement »¹⁹, et sur le caractère imprévisible des solutions qui constitueront, avec l'apparition de constantes dans l'activité collective, des fonctions durables.

La mémoire est ainsi « la foule de tous les vécus de la vie organique qui continue à vivre, s'ordonne, se forme par action réciproque, est en proie à des luttes intestines, simplifie, concentre...²⁰». Si l'on tient à employer en biologie un langage proche de la psychologie, pour souligner le caractère sensorimoteur des phénomènes et les formes de mémoire et d'anticipation qu'il suggère, il faut alors admettre carrément que toutes les formes de la vie organique ont part au sentir, au penser et au vouloir. Coextensive à la vie, la conscience n'est plus l'unité réflexive et autonome que la psychologie commune veut imposer comme une réalité incontestable : « En fait, nous sommes une pluralité qui s'est imaginé être une unité.²¹»

En se concentrant sur la notion de volonté, la critique nietzschéenne des représentations dualistes en psychophysiologie rejoint nombre de travaux caractéristiques de la neurologie des dernières années du XIX^e siècle²². Plus proche que ne le sera Freud des conceptions physiologiques de la vie psychique, plus attaché que le fondateur de la psychanalyse aux explications évolutionnistes des propriétés fondamentales du système nerveux, au point de refuser au « ça » individuel une quelconque autonomie, Nietzsche retient des travaux de ses contemporains tout ce qui peut conforter une conception pluraliste, probabiliste, et déjà « néo-darwinienne » de la formation de l'organisme. Il voit dans le vivant une collectivité innombrable d'êtres en lutte, une société instable mais régulée par la mémoire organique des formes qui ont été sélectionnées. Et il n'en va pas autrement de l'homme, en qui « il y a autant de "consciences" qu'il y a d'êtres constituant son corps²³». On retrouve dans les

19. *La Volonté de puissance*, II, 59, *op. cit.*

20. Tome x, p. 198, Gallimard, 1977.

21. Tome v, p. 461, Gallimard, 1967.

22. Cf. Marcel Gauchet, *L'Inconscient cérébral*, Seuil, 1992.

23. Tome XI, p. 310, Gallimard, 1977.

fragments destinés à *La Volonté de puissance* des échos de la « conscience coloniale » de Ribot (conscience formée par agrégation de « consciences locales »), mais en rendant la conscience immanente à la vie la plus élémentaire, Nietzsche la détermine désormais comme une puissance plastique originaire : outre les perfectionnements obtenus par l'usage et les utilités partielles fixées par sélection, des « formes neuves » ne cessent d'être produites par cette puissance, sans qu'une conscience unitaire puisse être autre chose que le dernier trait qui s'ajoute à l'organisme quand il fonctionne déjà parfaitement (elle est presque superflue en ce sens). On ne saurait négliger ici les influences néo-lamarckiennes, celle de Rütlimeyer qui fut collègue de Nietzsche à Bâle et incita le philosophe à penser la plasticité des organes en fonction des variations aléatoires des conditions de vie et d'activité (rôle des circonstances et du hasard qui permettent de mettre hors-circuit la notion d'une utilité ou d'une fonction permanente). Ce qui est important pour Nietzsche dans la pensée lamarckienne de la vie, c'est qu'elle n'ordonne pas les morphogénèses selon une utilité finale, tout en ne les réduisant pas aux effets mécaniques des conditions extérieures. La plasticité de la force active n'implique ni finalité univoque, ni pure passivité mécanique. La critique des principes téléologiques²⁴ vise d'abord le fameux « instinct de conservation », et ensuite le primat de l'adaptation. Comment y aurait-il transformation ou évolution des formes sans un « pouvoir de ne pas vouloir durer²⁵ » ? Si l'on ne conçoit pas la « volonté » immanente à tout ce qui vit comme une activité originaire sans intention ni fin, comment rendre compte de l'« inventivité » de la vie ? La plus longue erreur, la croyance au permanent et à l'identique en nous et hors de nous²⁶ revient insidieusement dans les théories de l'évolution, quand il s'agit d'interpréter la complexification croissante des formes de vie. De même qu'il avait rompu avec la conception hégélienne de l'histoire comme processus dont l'essence est l'activité de l'Esprit, de même

24. *La Volonté de puissance*, II, 37, *op. cit.*

25. *Ibid.*, II, 50, 55 & 56.

26. *Ibid.*

Nietzsche rompt avec une interprétation téléologique et axiologique de la sélection. (C'est ce qu'il appelle son anti-darwinisme tout en retenant de Darwin le schéma probabiliste qui fait intervenir en les corrélant la pression sélective du milieu et les facteurs démographiques — nombre et diversité — qui définissent les chances de survie et d'évolution de l'espèce.) Ce qu'il met en cause, c'est l'usage, déjà perceptibles au XIX^e siècle, de cette interprétation dans le champ de l'histoire et de la sociologie ; c'est l'évolutionnisme sociologique, comme on le voit nettement dans *La Généalogie de la morale* (Spencer, les utilitaristes anglais et les fonctionnalistes en anthropologie).

En fondant sa conception du vivant sur la notion de puissance — ce qui implique une typologie et une morphologie — et pour échapper à la réduction à une seule finalité, à une seule orientation et à une seule signification de l'ensemble des forces qui agissent ou réagissent en lui, Nietzsche évite à la fois la surestimation des types les plus récents et des activités adaptatives.

D'où l'ironie de ce retournement de l'interprétation darwinienne de la sélection qu'est pour Nietzsche le triomphe des plus faibles, par coalition contre les types exceptionnels et prévalence des forces réactives et adaptatives : ce sont les types de « décadence » qui fixent les normes et le sens du devenir. Mais, sous cette ironie, pointe déjà la remarque que l'adaptation elle-même est soumise à une force interne et que, sous les forces réactives qui répondent à un besoin de régulation et de limitation des risques, il faut encore chercher ce qui est actif, spontané, cette puissance qui ne se réduit jamais aux formes d'organisation observables, ces compromis instables que la biologie du XVIII^e siècle, en rupture avec le mécanisme, a cru pouvoir penser selon la métaphore politique qui suggère une idée directrice de l'ensemble. Il est constant, en effet, que la métaphore politique implique ce qu'elle est chargée d'éclairer : l'idée d'une interdépendance fonctionnelle des éléments d'une totalité qui est leur condition d'existence et de fonctionnement²⁷.

27. Kant, *Critique de la faculté de juger*, § 65, Vrin, 1960.

Selon la perspective de la volonté de puissance, il n'y a pas d'idée de l'ensemble qui détermine la situation et la fonction (pour parler comme Kant) de chaque élément : il suffit d'interpréter l'organisation en termes d'appropriation provisoire d'un ensemble de forces subalternes qui sont en lutte avant d'être coordonnées et orientées par la force dominante ; c'est l'état d'équilibre et de coordination de l'ensemble, état dont les forces dominantes s'attribuent la responsabilité, ce qui donne l'illusion d'une idée directrice et d'une volonté de l'organisme : « L'effet, c'est moi : il se passe ici ce qui se passe dans toute collectivité heureuse et bien organisée ; la classe dirigeante s'identifie au succès de la collectivité ²⁸. » Nous n'avons plus affaire ici au seul modèle républicain, puisque tout dépendra de la formation considérée et des rapports de pouvoir qui ont pu déterminer son émergence. Ainsi, la généalogie d'une mémoire humaine fera-t-elle intervenir successivement un modèle despotique ou esclavagiste, un pouvoir sacerdotal (moment de l'intériorisation et de la spiritualisation de la mémoire), et différentes formes de pouvoir « républicain ²⁹ ». L'erreur serait de donner une description unilatérale des conditions de formation des fonctions ou des facultés du vivant. C'est avec la plus grande vigueur que Nietzsche réaffirmera ce perspectivisme qui fait la liberté de l'esprit, tant dans les sciences de la nature que dans nos connaissances anthropologiques. « Nous pensons, écrit-il dans *Par-delà bien et mal*, que la dureté, la violence, l'esclavage, le danger partout présent (...) sert aussi bien que son contraire à élever le niveau de l'espèce humaine ³⁰. »

Quelle sélection ?

On a souvent retenu des derniers textes de Nietzsche sur la culture cette idée de la nécessité, dans toute civilisation, de la

28. *Par-delà bien et mal*, I, 19, *op. cit.*

29. *Généalogie de la morale*, II & III, *op. cit.*

30. *Par-delà bien et mal*, 44, *op. cit.*

contrainte, de l'esclavage même ; la tâche du philosophe médecin et éducateur étant de rappeler sans cesse les conditions de maintien et de développement de la vitalité, à savoir les « formations de souveraineté » (une sélection qui n'aïlle pas dans le sens des normes « grégaires », « nivelantes », qui favorisent l'entropie), et une éducation qui en favorise l'essor. Le texte qui éclaire ces thèmes, les plus délicats à interpréter dans l'œuvre de Nietzsche, me semble être le § 203 de *Par-delà bien et mal*. Il s'agit des expériences qui devraient avoir lieu pour « mettre fin à l'effroyable règne du non-sens et du hasard (...), le non-sens du plus grand nombre ». Nietzsche évoque ici l'espoir d'une « anthropoculture réfléchie » capable d'enrayer le processus de « rapetissement », de « bestialisation » de l'homme par le triomphe d'un idéal de vie sociale d'où seraient exclues, à n'importe quel prix, la discorde et la détresse. Le philosophe évoque « le plus douloureux souvenir » (*schmerzlichste Erinnerung*), celui d'hommes riches d'avenir brisés dans leur élan. On retrouve ici la préoccupation du jeune professeur que tourmentait, dans les *Conférences sur nos établissements d'éducation*, la perspective d'une jeunesse asservie aux besoins de l'État militaro-industriel moderne, sous couvert de démocratisation de l'enseignement, précisément dans des établissements techniques...

Mais au-delà du souci de préserver les chances d'une vie capable de création, au-delà donc du souci de l'avenir (de la possibilité maintenue de la liberté de l'esprit qui seule peut garantir une salutaire « intempestivité » quelles que soient les pressions d'une société tentée par une rationalité étroitement quantitative), c'est la question des rapports de la culture et de la nature qui se trouve posée, sachant que cette nature n'est plus pensée comme une source de normes. Dire que l'homme « est tout entier nature », c'est bien autre chose que de dire qu'il y a une « vraie nature » de l'homme, une essence qui serait virtuellement dans ses dispositions et qu'il aurait à réaliser ; en renonçant à une conception téléologique de la nature en général, et de l'humaine nature en particulier, en s'interdisant la tournure « vraie nature de l'homme³¹ », on aura

31. *Aurore*, 6 (150), *op. cit.*

déjà accompli l'essentiel de l'entreprise critique, qui est de ne plus farder « l'effroyable texte de l'*homo-natura* ³² ». Et cet « effroyable texte », c'est celui des pulsions et des affects que dissimule le discours moral sur l'humain comme rupture avec la nature, par un acte qui relèverait d'un pouvoir transcendant (l'esprit, la raison, l'autonomie de la volonté). En ce sens également, qui relève du domaine de la connaissance et non plus de l'agir, on peut considérer la morale « comme instinct de négation de la vie ³³ », c'est-à-dire comme mouvement de dissimulation et de justification qui donne à la culture une image idéalisée d'elle-même (comme action sur ou contre une nature « inhumaine »).

Par-delà bien et mal signifie donc « par-delà le travestissement de la nature et de l'humain par une perspective qui relève plus de l'idéal, du désirable, que du réel. Déshumaniser la nature et naturaliser l'homme vont donc de pair ³⁴ : il s'agit de prendre la mesure des effets réels de ce que dissimule la justification humaniste de ce qui se nomme culture dans nos sociétés. Que donne, en effet, un tel examen ?

Essentiellement deux symptômes : « le savoir massivement accepté, sans faim, à contrecœur même, et qui cesse d'agir comme facteur de transformation, et de formation ³⁵ » ; et une formation qui n'a rien d'une véritable *Bildung*, puisqu'elle se soucie comme d'une guigne de l'individualité, et qu'elle vise à « créer des hommes » aussi « courants que possible », comme on parle de « monnaie courante ³⁶ ». D'un côté l'érudition indigeste qui caractérise la formation des « philistins », de l'autre la réduction barbare de la sélection à la domestication avec « pour fin l'utilité ou plus exactement le profit ³⁷ ».

32. *Par-delà bien et mal*, § 230, *op. cit.*

33. *La Volonté de puissance*, I, 299, *op. cit.*

34. *Le Gai Savoir*, 11 (307), *op. cit.*

35. *Considérations intempestives*, II, 4, Gallimard, 1976.

36. *Conférences*, I & IV, Gallimard, 1975.

37. *Ibid.*

Comment penser alors une sélection qui soit formatrice d'autre chose que de fonctionnaires, de négociants, d'officiers, de marchands ? Comment sortir de l'asservissement auquel préparent les « établissements de la misère de vivre³⁸ » ? La détresse à laquelle fait allusion le texte tant controversé de *Par-delà bien et mal* en appelle à une sélection centrée sur la recherche de l'autonomie individuelle. Au lieu de soumettre la pensée, la science et l'art à la « taxation du troupeau », au lieu de tout investir dans la formation d'une classe « avide d'honneurs et de places, prudente et souple, flatteuse envers les influents³⁹ », il faudrait pouvoir ménager la possibilité, pour ceux qui ne relèvent pas du seul pathos de la norme adaptative, de trouver « leur centre propre, leur loi interne d'unification, et de tirer de soi la majeure partie de ce qu'on apprend⁴⁰ ».

Le thème d'une éducation « sélective » semble bien, par conséquent, relever non d'un quelconque darwinisme social, du reste condamné par l'idée que dans un tel point de vue, « les médiocres auraient plus de valeur que les exceptions⁴¹ », mais bel et bien d'un « anti-darwinisme » pratique, qui tient à une critique « philologique » du discours darwinien, dans ce qui, en lui, relève d'une interprétation de type axiologique.

L'éducateur lucide et conséquent n'est ni celui qui tente de retrouver une « vraie nature », ni celui qui prétend suivre une norme naturelle, mais celui qui se sait condamné à l'art et à l'artificiel, sur un fond de réalité inhumaine, en dépit des valeurs proclamées par les institutions. Renonçant à l'illusion de pouvoir tirer des leçons de l'évolution biologique (dont il ne préjuge pas du sens), il trouve son espérance dans les rares moments « intempestifs » de l'histoire de la formation des hommes, lorsque, de façon éphémère, un « renversement des valeurs », un effort pour oser penser et créer a été possible. De même qu'il n'y a pas, selon Kant, transmission de la capacité créatrice en art, mais éveil d'un talent à

38. *Ibid.*

39. *Considérations intempestives*, III, 7, Gallimard, 1976.

40. *Le Gai Savoir*, fragments posthumes, 11 (272), *op. cit.*

41. *La Volonté de puissance*, I, 395, *op. cit.*

l'occasion de la rencontre d'un maître, de même la véritable éducation ne peut-elle être programmée : elle est de l'ordre de la rencontre fortuite, comme le montrait Schopenhauer éducateur.

La nature « gère mal son affaire », et l'histoire fait bien pire, qui balaie au passage ceux dont les conditions d'existence sont les plus complexes et les plus délicates. Et puisque l'ironie de cette histoire que l'on a voulu déchiffrer à partir de l'évolution est de pratiquer une sélection à rebours, la chance de la pensée, qui est ressource, au moins depuis Homère, est de prendre racine sur un fond tragique, en ayant conscience d'être une merveilleuse « erreur de la nature », un écart inespéré dans l'histoire des institutions humaines ⁴².

L'« aristocratie » de la philosophie de la vie de Nietzsche doit être compris comme un arrachement au nihilisme à partir d'une lecture ironique de l'histoire : ce sont les forces de régulation et d'assujettissement qui finissent toujours par triompher dans l'histoire, en intégrant et en musclant à l'usage du grand nombre les créations des individualités qui font exception. Mais comme l'homme « est un animal dont le type n'est pas encore fixé ⁴³ » et que le penseur est une « victoire précaire de l'individu sur le milieu », l'espérance se fonde sur l'impossibilité d'assujettir une nature « qui décoche ses flèches sans viser, et se trompe un nombre infini de fois ⁴⁴ ».

42. *Considérations intempestives*, III, *op. cit.*

43. *Par-delà bien et mal*, III, 62, *op. cit.*

44. *Considérations intempestives*, III, *op. cit.*

La crise bioéthique du droit

La crise bioéthique du droit ne se traduit pas seulement par des discussions dans les institutions législatives de divers pays européens sur les nouvelles lois concernant les biotechnologies, la procréation médicalement assistée ou la manipulation des embryons, mais surtout par des apories juridiques et éthiques nouvelles. Une crise juridique apparaît lorsqu'un ensemble de lois en cours n'est plus suffisant pour résoudre des questions de légitimité. Cette crise s'est précisée dès les années quatre-vingt et ira probablement en s'accroissant durant les décennies futures en accompagnant les nouvelles possibilités d'action technique sur l'ontogenèse, la procréation humaine et le corps lui-même. Il convient cependant de saisir la portée très générale de cette crise. Nous aurions tort de restreindre à présent le problème bioéthique à l'homme. C'est une mutation de notre conception de la nature comme *norme* qui sera tôt ou tard mise en cause par les possibilités d'action sur toutes les espèces animales et végétales. La crise naissante est la dernière phase de la crise du droit naturel commencée au xvii^e siècle, par une phase juridique, avec les théories

des juristes, puis avec la théorie rousseauiste du contrat. L'originalité de cette dernière phase biologique de la crise du droit naturel est d'être engendrée par la technologie, et donc par la science¹. La crise actuelle doit être replacée au dernier stade de la rationalisation de la nature qui s'est accélérée au xvii^e siècle avec l'apparition des sciences de la nature et des techniques industrielles. En s'attaquant à l'ontogenèse et à la constitution génétique des sujets du droit, cette crise est une *crise de la fondation* autant qu'une *crise de la représentation* des limites de la légitimité d'une utilisation de la *technè* sur le patrimoine naturel. Un des indices les plus significatifs de cette crise est, paradoxalement, la crise de l'Église catholique, première héritière du droit naturel, qui, pressentant que la norme d'une nature humaine allait être bientôt radicalement enfreinte par les biotechnologies, a entrepris de réhabiliter Galilée et de condamner les nouvelles pratiques scientifiques². Enfin, cette crise est une crise de la *juridiction*, puisqu'elle force les lois à légiférer sur un domaine privé traditionnellement étranger à ses prérogatives : la procréation et la disponibilité du corps.

1. La crise politique du droit naturel reposait sur l'idée de liberté originelle (appuyée sur la construction hypothétique de l'état de nature (chez Rousseau) et de contrat comme origine de la souveraineté. Elle fut engendrée par des exigences de droit. La crise actuelle est encore une crise du droit naturel résiduel qui se fonde sur l'intuition d'une normalité biologique.

2. Tel est, selon nous, le sens de la réhabilitation de Galilée : s'en libérer pour condamner plus fortement les biotechnologies. En témoigne un article du cardinal Poupard, participant à la commission de révision de l'affaire Galilée : « Les problèmes nés hier de l'apport neuf de l'astronomie, de la physique et de la mathématique surgissent aujourd'hui des découvertes scientifiques récentes et de leurs applications possibles dans ces disciplines relativement nouvelles que sont la biologie et la biogénétique, dont l'incidence est plus que jamais directe sur l'homme lui-même, sa pensée, son action, au point de menacer les fondements mêmes de l'humain. » (« Galilée : fin d'une querelle », in *Le Figaro*, 16 novembre 1992, p. 2.)

Les nouveaux pouvoirs

Les possibilités inédites sont la transplantation d'organes ou de substances organiques (sang, moelle osseuse, rein, cornée), la procréation médicalement assistée (PMA), la fécondation *in vitro* (FIV), l'insémination artificielle avec donneur (IAD), le diagnostic préimplantatoire sur l'embryon (DPI) ou le simple diagnostic prénatal (DPN) ; la pratique des mères porteuses et enfin, les problèmes déjà anciens de l'interruption volontaire de grossesse (IVG) et de l'interruption thérapeutique de grossesse (ITG) qui demandent également à être régulés. Ces biotechnologies sont, par exemple aux États-Unis, déjà utilisées au sein d'un eugénisme familial (choix du sexe de l'enfant, de caractéristiques diverses), et d'autre part comme médecine préventive des maladies héréditaires. La lacune juridique vise les limites de l'utilisation individuelle de ces techniques, et donc les services des hôpitaux, les laboratoires et les cliniques privées qui représentent un marché potentiel lucratif. Le rapport de ces potentialités au marché est essentiel car il touche le principe d'indisponibilité du corps humain à tout commerce. Ces potentialités s'ouvrent à une variété considérable de demandes : couples homosexuels, hommes ou femmes, désirant un enfant par FIVETE (fécondation *in vitro* avec donneur et transplantation embryonnaire), femmes ménopausées désirant un enfant et accouchant par don d'ovocyte et transplantation, fécondation *post mortem* et développement *post mortem* de l'embryon, décalage temporel des transplantations, etc.

Droit réflexif et droit intersubjectif

Pendant deux millénaires, le droit est resté étranger à la constitution des sujets de droit en ne réglant que des *relations extrinsèques* (sécurité et agression, propriété et vol, empêchements et liberté) entre les individus. Ce droit inter-subjectif est aussi un droit extra-subjectif. L'extra-subjectif dénote toutes les relations et tous les attributs externes au sujet et à sa genèse biologique. Certes, des questions de *droit réflexif* concernaient déjà deux cas limites : l'avortement et le suicide. L'avortement posait le problème de la

différenciation de deux droits : celui de la mère et celui de l'enfant, c'est-à-dire la limite du droit réflexif à la liberté : disponibilité de soi par soi (pour la mère) et début d'un droit aux droits pour l'enfant. Une mère n'agit-elle que sur elle-même dans l'avortement ? Quant au suicide, il posait un problème de droit purement réflexif, dont les réponses varient selon les cultures et les religions³. Cependant, ces problèmes concernaient les limites d'un droit intersubjectif qui ne mettait pas en cause l'ontogenèse des sujets de droits. Depuis l'avènement des biotechnologies, le droit doit régler des modifications intrinsèques de sujets constitués (ventes ou dons organiques, ontogenèse, disposition des corps décédés, manipulation des embryons surnuméraires, usages du diagnostic pré-implantatoire). Lorsqu'il entre dans le domaine de la genèse et de la constitution biologique des sujets de droit, le droit devient intra-subjectif. C'est l'*origine*, jusque-là contingente, et l'*essence individuelle* de l'ancien sujet du droit qui deviennent domaines du droit. La finalité rationalisée et la *technè* entrent sur le terrain de la constitution interne des sujets de droit alors qu'elle ne gérait que leurs actions ou leurs relations aux choses⁴. Les vrais ancêtres de ce droit intra-subjectif sont le code hippocratique des médecins et l'éthique médicale. Mais il y a un saut qualitatif d'une éthique thérapeutique à une éthique de la création scientifique du sujet.

La vente du sperme par le donneur d'organes et l'autolocation des mères porteuses relèvent d'un droit réflexif à se constituer comme marchandise évaluable. Pourtant, le droit à disposer de son corps et de ses produits est fondamental et rejoint l'*auto-appartenance* de soi à soi⁵. Ce principe ne connaissait jusqu'à

3. Certaines cultures privilégiaient le suicide. Ainsi, la culture stoïcienne du Bas Empire et la société impériale japonaise.

4. Cela, bien que la finalité humaine entre dans un espace où surgissent nécessairement des coïncidences irréductibles à la prévision, que nous appelons « hasards ».

5. L'auto-appartenance de soi n'est pas la disponibilité de sa personne, mais le droit à agir envers soi comme on l'entend et quels que soient les risques encourus. Mais parce qu'elle n'est pas une valeur pouvant être échangée ou

présent que le problème du droit moral et juridique au suicide et de la prostitution comme disponibilité du corps à la location du plaisir⁶. Étant entendu que la location de la force de travail ne cède qu'une compétence de l'individu et non pas sa personne. Et qu'en outre, la libre disposition de sa personne apparaissant comme une liberté essentielle, les législations sont en France muettes sur le suicide.

La rationalisation génique, qui comporte une part de prévention positive des maladies par le diagnostic prénatal (DPN) ou préimplantatoire (DPI), diminue la *contingence* de l'ontogenèse humaine. Pourrions-nous nous en plaindre lorsqu'il s'agit d'éviter des malformations graves ? Mais cette rationalisation remet en cause l'irréductibilité de la personne à un matériau ou à un instrument social et repose le vieux problème platonicien de l'eugénisme, même si l'eugénisme à venir sera sans doute familial plutôt qu'étatique.

Ce déplacement du droit vers la constitution des sujets de droit est accompagné par une incertitude catégoriale de ses concepts sous le bouleversement des possibilités scientifiques. Et dans ce contexte, les concepts de « personne », de « filiation », de « paternité », de « maternité » et d'« identité » seront bientôt désarticulés.

cédée, cette appartenance n'est pas une propriété : je ne peux pas me vendre mais seulement louer ma force de travail. La prostitution représente la transition entre l'appartenance et la propriété du corps. Il est évident que l'appropriation de soi au sens second implique une distanciation du corps et du soi. L'esclavage pose le droit à la propriété du corps ; mais, puisque la liberté originelle ne peut être cédée, même volontairement, au souverain, le droit contractuel rousseauiste pose son irréductibilité à toute relation de propriété contre les juriconsultes. Tel est le moment crucial du *Contrat social*.

6. Paradoxalement, la prostitution, à laquelle peu de philosophes, hormis Georg Simmel dans sa *Philosophie de l'amour*, ont consacré une réflexion sérieuse, manifeste la supériorité de l'esprit sur le corps et donc le triomphe de l'idéalisme au sens philosophique du terme.

L'éclatement du substrat juridique et moral

Le substrat juridique et moral du Code civil est la personne civile. Or les progrès scientifiques mettent en question cette catégorie avant et après la vie autonome de l'individu en introduisant des continuités vers l'embryon et vers la mort. Où commence et où finit le sujet ? Il est clair que des marges d'incertitude sont nécessairement causées par les potentialités médicales de vie artificielle. Les statuts juridiques de l'embryon, du comateux clinique et du mort expriment aussi une incertitude catégoriale, aisément explicable par la constatation que nos catégories sémantiques impliquent des discontinuités soutenues par notre logique du tiers exclu⁷. Le statut éthique du mort n'est pas un réquisit contemporain ; dans la plupart des cultures, le mort possède un statut religieux impliquant des rites de crémation, des interdictions, des pratiques de mortification et de commémoration. Jusqu'au xvi^e siècle en Europe, le corps mort reste dans une large mesure sacré et intouchable ; il faudra attendre l'audace de Vésale franchissant l'interdit de l'expérimentation sur le corps mort. La laïcité scientifique du corps, sa désacralisation soutenue par le matérialisme du siècle de Descartes et de Newton autorise l'autopsie, c'est-à-dire une sémiologie du corps : l'intégrité du corps n'est plus vécue comme un *sine qua non* de sa dignité. Encore une fois, la crise actuelle montre que les évaluations sont tributaires d'un réseau de croyances et de représentations qui déterminent des jugements de valeur.

Quel sera le statut juridique de l'embryon ? Est-il un individu, une personne potentielle ? La forfanterie des « apologistes du quatorzième jours » décidant suivant un arrêt du congrès américain et les résultats providentiels des autorités scientifiques américaines, que la personne

7. Selon le principe de la logique classique « A et non A » ne peuvent être vrais simultanément. Ce qui conduit l'identification à exclusion des catégories hétérogènes de substantifs (non incluses, comme espèce et genre : « table » et « meuble » ; ou comme prédicats et substances : « blanche » et « table »). Nous répugnons à penser la continuité des réalités dénotées par les substantifs. Un x n'est pas « plus ou moins meuble » ; tandis que, en langage aristotélicien, nous présupposons en permanence la continuité des qualités ou des accidents de la substance.

morale apparaît le quatorzième jour de la formation de l'embryon nous montre comment la discontinuité conceptuelle peut être idéologique⁸. Le concept de « personne » est un concept philosophique qui se définit à travers un réseau de données phénoménologiques (irréductibilité à l'intentionnalité instrumentale et à la propriété, réflexivité et conscience de soi, sensibilité, sujet transcendantal, volonté autonome). Et le saut au niveau embryonnaire pose un problème aussi insoluble que celui de savoir où commence le rouge à partir du rose. L'évolution continue entre l'œuf, l'embryon, le fœtus et l'enfant n'est pas sécable. Le véritable problème inavoué naît de ce que la culpabilité et l'innocence humaine exigent d'être pensées en concepts discontinus, et que la solution ne relève pas d'une rationalité dure, mais consensuelle et argumentative. Les hésitations de l'ancien président du Comité national d'éthique en France sont révélatrices⁹. Gardera-t-on dix, vingt jours ou deux ans les embryons surnuméraires à une transplantation après une implantation artificielle de l'un d'eux ? Propriété d'abord : à qui appartiendront-ils ? L'appropriation du choix de la naissance, modifié par les contrôles sur les mécanismes de la contraception, est ici bouleversée : tout individu institutionnellement responsable peut décider de la vie d'un embryon indépendamment de ses géniteurs. Statut de l'homicide ensuite : est-ce tuer, ou bien tuer est-il réservé à la personne qui commence à la naissance¹⁰ ? La plupart des

8. Jacques Testard, *Le Désir du gène*, chap. IV, p. 164.

9. Jean Bernard, *op. cit.*

10. Les discussions de Frege sur la différence entre le sens (*Sinn*) et la référence d'un concept (*Bedeutung*) reçoivent aujourd'hui une nouvelle importance. C'est la différence entre le niveau macroscopique, où le langage a formé ses catégorisations, et les niveaux de l'analyse infravisuelle qui peut donner la place exacte des problèmes de catégorisation. Curieusement, la décision humaine s'alimente d'une délibération qui s'appuie sur le découpage discontinu des réalités et se heurte aujourd'hui à la superficialité de ses divisions. La vie est un processus continu et son ontologie est une ontologie de la croissance et du développement. Il est intéressant que les sciences offrent ici les premières incertitudes de la domination conceptuelle du monde par le langage. Ici, on ne peut que rendre honneur aux essais de Nietzsche sur la vérité comme métaphore.

codes européens visent à reconnaître la personne juridique et morale après la naissance ; mais ce qui est avortement devient à peu de distance infanticide¹¹. Jean Bernard reconnaissait que les embryons surnuméraires à une implantation réussie lors d'une fécondation *in vitro* sont un problème grave : faut-il les détruire ? Selon la remarque de Lucien Sève, « reconnaître à l'embryon qui nous oblige du respect, c'est avoir plein souci de la potentialité biologique qu'il recèle et donc des conséquences de nos actes sur son avenir biomédical, plein souci de la représentation anticipée de la personne psychologique, sociale et morale dont l'édification a déjà commencé¹² ». Mais, eu égard à l'avortement de convenance, on ne voit pas la différence avec la destruction d'embryons congelés. De surcroît, alors que la décision du conseil d'éthique fut d'abord une mise à disposition de deux ans avant destruction « pour éviter les *discordances* de générations », le projet de loi propose aujourd'hui cinq ans. Qu'est-ce qui justifie cette décision ? Dans le travail de Lucien Sève, la notion de « personne potentielle de l'embryon » et le souci de respecter la « représentation anticipée de cette personne » semblent fondamentaux. À quel critère fera-t-il référence pour évaluer la possibilité de prélever des substances biologiques sur les embryons ? En dernier ressort, c'est bien une éthique kantienne qui légifère : la personne humaine est « une fin en soi », irréductible à un statut simplement instrumental. Elle est un sujet absolu de droit par sa liberté.

Les progrès des techniques implantatoires ont « détemporalisé » la conception, au sens où une filiation peut être amorcée à l'aide de sperme ou d'embryons congelés pendant ou après la vie des parents biologiques. À partir de là, on peut imaginer des filiations artificiellement réparties en éventail sur un siècle ou décalées dans

11. C'est la position de l'Église catholique : « La coopération formelle à un avortement constitue une faute grave. L'Église sanctionne d'une peine canonique d'excommunication ce délit contre la vie humaine. (...) L'embryon devra être défendu dans son intégrité, soigné et guéri dans la mesure du possible comme tout être humain. » *Le Monde*, 13 novembre 92.

12. *Op. cit.*, p. 198.

le temps. Les relations temporelles dans la filiation peuvent éclater et bouleverser les représentations : un arrière-petit-fils pourra rencontrer à la fin de sa vie le jeune fils de sa grand-mère. Cette détemporalisation des processus biologiques est aussi grave que la décatégorisation.

Un autre aspect de ces éclatements conceptuels est celui de la filiation. La maternité devient duale : maternité ovulaire et maternité de grossesse produisent deux mères biologiques parce que la mère porteuse interagit également avec l'enfant porté. Là encore se profile la notion future de polyfiliation et de polymaternité qu'il nous sera bien nécessaire d'admettre dans la société future sans que le respect à l'individualité soit forcément menacé. Cette polyfiliation alimente par exemple les désirs d'un « enfantement homosexuel » par intervention d'un tiers anonyme (don d'ovocyte ou de sperme). En ce cas, il faudrait accepter une *parenté juridique homosexuelle* par FIVETE qui romprait définitivement avec toute signification biologique. La science devient donc ici vecteur de fantasmes.

Fantasmes

Un lecteur des alchimistes du xvi^e au xviii^e siècle ne peut qu'être frappé de la constance des fantasmes humains : les *homonculus* de Goethe dans son *Faust*, l'espérance d'immortalité et de jouvence, le secret d'éternelle jeunesse de Paracelse réapparaissent à l'horizon de la biologie. Les constantes humaines du narcissisme, de l'immortalité et de la renaissance, de la perfection et de la virginité, pourraient bien s'emparer de la science nouvelle. Les biotechnologies entrant sur le libre marché des services de fantasmes collectifs, les valeurs orienteraient dangereusement la demande¹³. Certaines obsessions peuvent paraître plus nobles : la fécondation *post mortem* à l'aide

13. Ainsi le fantasme des « vierges anglaises ». En 1991, on a procédé en Angleterre à des fécondations *in vitro* motivées, semble-t-il, uniquement par l'angoisse de la fécondation *in vivo* des demoiselles concernées. (On reconnaîtra ici une version passionnante de l'Immaculée Conception.) On trouve aussi en Italie une valorisation de la maternité chez les femmes ménoposées.

du sperme congelé d'un partenaire décédé est une victoire incontestable sur la mort et sur la finitude. Pour un philosophe lucide, il faut compter aujourd'hui avec une mutation des conditions futures de l'être humain. L'identification et l'appropriation active de la personnalité sont-elles des processus indépendants de la genèse de l'individu ? La réduction de l'ontogenèse à la planification des désirs parentaux postule que oui. La fécondation et le développement *post mortem* de l'embryon posent aujourd'hui un problème des plus précis à la conscience européenne. D'un côté, il s'agit là d'une victoire remarquable sur la mort ; d'un autre, d'une fécondation sans père. Comment refuser cette possibilité de pérennisation biologique d'un lien affectif ? Les objections des scientifiques ne sont pas toujours convaincantes¹⁴. Ici se manifestent de façon éclatante les conséquences de la spécialisation scientiste ; la compétence médicale étant accompagnée généralement d'une naïveté philosophique étonnante. On peut dire que la crise de la bioéthique réamorçe en cette fin de siècle la question du cartésianisme en posant les questions d'appropriation du corps par rapport au soi et au moi individuel. Là encore, il faut à la fois tenir compte du développement de l'herméneutique contemporaine qui distancie le sujet réel par rapport à son histoire biologique¹⁵. Ainsi, les processus de constitu-

14. René Friedman dit à ce sujet : « N'est-il pas triste de programmer volontairement un orphelin, de faire porter à l'enfant un deuil en miroir ? Le désir égoïste d'enfant imaginaire risque de détériorer l'enfant réel. La notion du temps intervient dans le désir. Où est le désir du mort une fois mort ? Les cellules germinales ainsi stockées devraient disparaître, une fois le géniteur disparu, car ici encore le possible scientifique n'est pas sans doute humainement nécessaire. » (*Autrement*, 68, 1985, p. 225.)

15. Paul Ricœur montre que l'identité du moi, à la différence du soi engagé dans l'attestation morale, relève de l'interprétation des origines dans la conscience (*Du texte à l'action*, Seuil, 1990). Ce qui remet à leur juste place toutes les phobies de la robotisation. L'ontogenèse débouche sur l'éducation et l'appropriation des conditions contingentes de développement de l'individu. Il serait bienvenu de souligner la part énorme du développement psychosocial sur l'enfant avant de dramatiser les technosciences.

tion active du soi sont concernés dans la polyfiliation et l'on sait quel rôle jouent ces mécanismes dans la structuration psychologique de la personnalité lors de l'intégration des origines. L'enfant qui se sait redevable de deux mères aura-t-il à affronter un obstacle plus grand que l'adoption, la garde maternelle avec parents connus ou l'ignorance d'un parent ? Bien plus, ne pourrait-il pas s'enrichir de cette double parenté ?

De l'intercorporéité à la transcorporéité.

Le don ne concernait jadis que la personne comme corps voué, sacrifié ou tué, alors qu'il agrandit ses limites au corps transféré. Les greffes d'organes, de moëlle osseuse, de peau, de rein et les dons du sang réalisent proprement une *intercorporéité* humaine considérée durant des siècles comme impossible. Par symétrie avec l'*intersubjectivité*, communauté des structures cognitives, linguistiques et pragmatiques des hommes, l'intercorporéité, déjà pressentie dans les relations de filiation, est devenue une dépropriation altruiste longtemps réservée aux biens externes ou à la force de travail corporelle dans l'extériorité du monde. Il est vrai que l'idée christique d'une *ecclesia* rassemblant les chrétiens dans l'Esprit et le corps du Christ nourrit aussi efficacement ces élans que le sentiment infra-philosophique de l'appartenance à une même chair¹⁶.

Les progrès de la médecine verront peut-être se poser un jour la question de la greffe du cerveau humain, accentuant ainsi de façon cruciale la question du soi et du droit du soi conscient à disposer de son corps propre au profit d'autrui. Faudra-t-il alors étendre la notion de personne à la seule réflexivité du cerveau sur lui-même, comme conscience pure pouvant se désapproprier ou s'approprier un corps ? À vrai dire, il suffira alors de revenir aux

16 . La communauté corporelle de l'*ecclesia*, qui a donné notre mot « église », est manifestée lors de la Cène par la distribution du pain et du vin. L'intersubjectivité est à retrouver dans la co-immanence du Verbe au Fils que reçoit l'humanité, et dans le parallèle ontologique de la création.

intuitions cartésiennes des *Méditations métaphysiques*. Il se développerait alors une condition de *transcorporéité* des cerveaux de vivants à vivants ou de morts à vivants. Cette transcorporéité ne serait pas alors à considérer comme une aberration monstrueuse, mais comme un privilège ultime de l'homme.

L'idée de transcorporéité est en fait très ancienne puisque nous la retrouvons dans la doctrine de la transmigration des âmes de l'école de Crotoné en Grande Grèce vers le VIII^e siècle av. J.-C. L'éclatement de la relation corps-identité engendrerait alors un regain de réflexion sur le sens de la conscience de soi comme position spatio-temporelle dans un ensemble réel d'événements à partir d'un point de vue unique, rendue possible par une auto-représentation. L'immanence organique du corps propre à la conscience de soi n'est pas une propriété mais une donnée de fait, l'identité ne tenant pas à l'intégrité corporelle mais à la continuité mnésique d'une vie, centrée phénoménologiquement, qui se nomme et s'identifie par ses multiples références sociales dans un acte linguistique autoréférentiel. Dès lors, ce n'est pas le « soi » qui est atteint par la vente d'un rein ou d'un œil — et c'est bien ce qui rend la chose paradoxalement facile. La greffe du cerveau, à supposer qu'elle soit un jour possible, n'aurait alors rien d'extraordinaire : elle ne révélerait probablement que l'indépendance de la conscience de soi par rapport à l'appropriation d'un corps. Une anecdote advenue à Jean Bernard lors du congrès international de bioéthique de 1987 l'illustre de façon pittoresque : un bouddhiste lui affirma être peu concerné par ses questions, car il ignorait sa première naissance, sa seconde naissance et les formes animales qu'il avait revêtu. Bien des spiritualités ont effectivement déjà admis la non-unicité et la non-propriété du corps. Mais, inversement, si le corps n'est pas en Europe la propriété des individus, il n'appartient à personne d'autre que soi : il est notre appartenance et non pas notre propriété. En principe, les corps échappent au filet de la propriété qui recouvre le monde, au moins depuis l'abolition de principe du servage et de l'esclavage.

De l'eugénisme social à l'eugénisme privé

Aujourd'hui, l'eugénisme est en passe de pouvoir revêtir la forme d'un choix prénatal familial des caractéristiques des embryons. Engendrer signifierait dès lors réaliser des représentations idéales d'enfants. Les hasards du sexe de l'enfant, de ses caractéristiques, de sa taille, etc. serait alors réduits : procréer deviendrait un art soumis aux normes esthétiques ou sociales en cours¹⁷. Sa forme sociale semble ruinée par l'élucidation du fait que la race n'est pas un concept génétique pertinent. La possibilité d'une technicisation de l'ontogenèse est inévitable et réduit la contingence de la naissance : choix, suivi prénatal, tests suivent le développement de l'embryon. Tandis que le renouvellement de la vie humaine restait soumis à un hasard plus ou moins grand lié à la contingence des processus en jeu, elle devient accessible à la planification et à la finalité humaine.

Un des aspects fondamentaux de la constitution génétique et de l'existence humaine est sa contingence, contingence peut-être relative à l'insuffisance de notre savoir. Elle ne se réduisait jusqu'à maintenant ni à une rationalité des choix humains ni à la rationalité scientifique d'une exclusion des tares génétiques (hémophilie, bêta-talassémie, trisomie, etc.). Comme notre sexe, notre identité biologique nous apparaît comme une factualité non nécessaire, au sens où nous pourrions exhiber des conditions déterminantes — de même qu'un certain nombre d'événements de notre vie relèvent du hasard.

17. Cf. Jacques Testard, *Le Monde*, 17 septembre 1992, entretien publié pour annoncer son livre, *Le Désir du gène*. Le professeur Testard y proposait l'interdiction du diagnostic génétique sur les embryons à l'échelle européenne pour éviter la mise en place d'une sélection par les familles des caractéristiques de l'enfant. Cet eugénisme « démocratique » verra certainement le jour, malgré son prix de revient et l'atteinte au principe de la contingence de la naissance. Le professeur Jean Bernard, président du Comité national d'éthique reconnaît en 1990 que « le diagnostic prénatal pourrait, entre les mains de tel dictateur, permettre de redoutables mesures d'eugénisme, avec les cruelles conséquences que l'on sait » (*De la biologie à l'éthique*, p. 116).

La rationalisation de la procréation par exploitation du diagnostic pré-implantatoire inaugure un eugénisme familial, désormais possible. L'eugénisme familial, déjà effectif aux États-Unis, est cependant limité, à la fois par l'énorme complexité de la loterie génétique et surtout par les contingences de la socio-genèse de l'enfant. Mais on ne voit guère comment on pourrait longtemps empêcher un choix prénatal sur les embryons sinon par une législation nationale qui se heurtera aux services proposés par d'autres pays, de la même façon que les avortements jadis permis en Suisse. La reconnaissance du statut éthique de la personne, par opposition à celui de simple chose, est la conjonction de la position biologique (issu de parents humains) et de la conscience de soi. Elle ne se fonde ni sur une norme descriptive (qui serait normative), ni sur la seule conscience de soi. C'est ce qu'on peut déduire du respect des différences biologiques ou psychiatriques qui n'altèrent pas leur statut moral, comme du respect des comateux dont la conscience ne se manifeste plus (respect de dignité). La production industrielle des animaux pour la consommation humaine montre combien la vie n'est déjà pas en Occident la valeur suprême. Et la vie humaine n'est-elle pas à son tour soumise à une évaluation morale ou idéologique par décision libre du sacrifice ? Il s'impose donc de lutter par d'autres moyens contre la rationalisation biologique.

La technique est insérée dans l'évolution naturelle comme un élément déterminant sur l'ensemble de la biosphère. Est-elle étrangeté fondamentale à l'Être et perte du séjour comme le pensait Heidegger ou évolution de l'Être vers un contrôle démiurgique de l'homme sur l'Être ?

Le triomphe de l'autonomie de l'homme

Dans le rapport du CCNE de 1989, les principes faisaient l'objet du travail de Lucien Sève sur le thème de la dignité : « qualité incorporelle qu'il faut rigoureusement attacher au corps de l'homme si l'on veut trouver en tout ce qui le concerne la ligne montante de l'humanisme ».

L'autonomie de l'individu a été complétée par l'autonomie de

ses fonctions biologiques appuyées par la conscience : le goût est devenu gastronomique, la vision et l'ouïe esthétiques, la faculté de désirer est devenue générosité et la sexualité et toutes les sensations proprioceptives hédonistes. Le libre jeu des facultés se détache en une certaine mesure des contraintes immédiates du réel. La contraception et l'avortement ont en ce sens libéré le plaisir comme fin en soi sans pour autant les dissocier nécessairement lorsqu'un désir d'enfant apparaît. Cela dit, c'est une constante axiologique étonnante que toute vie conscience naisse du plaisir de ses géniteurs. On pourrait interpréter l'autonomie de la conception (eugénisme familial) comme le degré supérieur de l'autonomie des facultés issues de l'évolution.

Le commerce des corps humains

L'exploitation de l'homme par l'homme est devenue biologique à partir des années quatre-vingt, notamment à la suite de la découverte de substances réduisant les mécanismes de rejet des greffes ¹⁸. Exploitation résultant de la disparité des richesses entre les pays riches et les pays pauvres, ce commerce s'est rapidement développé. En 1989, le docteur Raymond Crockett et ses associés ont comparu devant un tribunal londonien pour avoir prélevé indûment des reins sur des paysans turcs. Ce trafic devait s'étendre sur l'Égypte par voix d'offres de presse. En 1990, l'hebdomadaire anglais *The Lancet* révélait que des malades des Émirats-Unis allaient se faire greffer un rein à Bombay. Le 31 juillet 1990, l'hebdomadaire *India Today* consacrait un dossier à ce marché d'organes à Bombay et à Madras. En 1989, plus de deux mille donneurs auraient vendu un rein pour

18 . La découverte des immunosuppresseurs comme la cyclosporine, au début des années 1980, a permis de réussir les greffes d'organes en étant moins exigeant sur la compatibilité des donneurs et des receveurs. En 1979, une équipe de l'hôpital Saint-Louis de Paris cultive des lymphocytes T qui ont pour propriété d'inhiber la prolifération d'autres lymphocytes qui provoquent le rejet des greffes.

2 500 roupies. Mais rien n'indique que les receveurs soient tous étrangers à l'Inde. Le salaire moyen d'un ouvrier indien étant de 80 francs par mois, quatre-vingt mille nouveaux malades par insuffisance rénale apparaissant, les conditions sont réunies pour que le commerce des corps humains soit possible¹⁹. Au début de 1991, le quotidien allemand *Die Welt* indique qu'une agence de Brême proposait aux insuffisants rénaux allemands d'aller se faire greffer un rein fourni par un donneur rémunéré, à Moscou, pour une somme de 400 000 francs. Au Brésil, l'hebdomadaire *O globo* propose des annonces d'offres d'organes divers²⁰.

L'exploitation interne contenue dans l'appropriation d'éléments du corps de l'autre contredit un des principes fondamentaux du Code civil selon lequel le corps humain est indisponible, invendable et incessible par différence à toute autre substance du monde qui peut devenir une marchandise selon un *prix*. Ce principe exactement formulé par Emmanuel Kant avec l'opposition du *prix* d'une chose et de la *dignité* de la personne s'enracine aussi dans un terrain métaphysique né au xvii^e siècle avec Rousseau. Au début du xvii^e siècle, les juristes Grotius et Pufendorf avaient reconstruit un modèle fictif de contrat social pour s'opposer aux théories absolutistes de Bodin selon lequel les individus sortis de l'état de nature *cédaient* leur liberté au souverain par un acte consentant. Rousseau remarquera que le corps et son libre arbitre sont incessibles, et que cette mise en esclavage volontaire n'a pour but que de justifier laïquement l'absolutisme et en particulier l'impossibilité absolue de se révolter contre l'injustice du souverain²¹. Le principe de l'esclavage comme propriété légale du corps d'autrui devait

19. Cf. Marcel Blanc, *L'État des sciences*, La Découverte, 1991.

20. Marcel Blanc, *op. cit.* Les prix vont de 70 000 à 230 000 francs pour un rein et 350 000 francs pour un œil.

21. Dans son *Contrat social*, Rousseau remplace cette théorie « par trop favorable aux tyrans » par un contrat social fondé sur l'association de toutes les libertés qui, par un commun renoncement à la volonté générale, remettent leur liberté illimitée au profit d'une liberté garantie par des lois, puis choisissent un représentant de cette souveraineté inaliénable.

s'effondrer sous l'universalisme des Lumières et avec la Déclaration des droits de l'homme. Kant fonde la dignité sur deux appuis : l'autonomie de la volonté et la capacité de raison pratique. L'irréductibilité de la personne à la chose, dirions-nous aujourd'hui, tient à sa réflexivité sur elle-même, sa conscience de soi. Cette propriété n'est pas séparable de sa propriété de faire être le monde et de le jeter dans la dimension représentative de l'intersubjectivité — ce que Husserl nomme sa *subjectivité transcendante*. En reformulant pour la troisième fois l'impératif catégorique qui doit résumer l'essence de toute morale, Kant dit : « Agis de telle façon que la maxime de ton action ne considère pas autrui simplement comme un moyen, mais aussi comme une fin en soi. » La notion difficile de « fin en soi » touche exactement l'irréductibilité de toute attitude morale à un calcul d'intérêt sur l'autre.

Paradoxes des juridictions

Contrairement à la Chine et à d'autres pays asiatiques tels que Singapour, c'est une tradition bien ancrée en Europe, depuis la fondation du libéralisme par John Locke, que la procréation relève d'une libre décision soustraite à toute juridiction ou régulation publique. Cependant, le dernier livre de Jacques Testard nous rappelle que l'eugénisme d'État n'était pas l'apanage exclusif du régime nazi. La Suède, l'Angleterre et la Suisse ont pratiqué un eugénisme à grande échelle ²².

Subissant la crise bioéthique du droit, les institutions démocratiques ont produit des juridictions consultatives dans le monde entier. La France avec le Comité consultatif national d'éthique, et dans de multiples pays, au niveau ministériel, parlementaire ou hospitalier. Mais les scientifiques les plus éclairés se sont élevés contre la confusion entre la compétence scientifique et l'autorité morale. Le problème webérien de l'habilitation du savant à se prononcer

22. Treize mille suédois ont ainsi été stérilisés de force entre 1941 et 1975. (Cf. J. Testard, *Le Désir du gène*, p. 58.)

sur les valeurs est remis dramatiquement à jour par ces institutions. Un lecteur attentif des bulletins du CCNE en France est frappé de l'effort et de la difficulté des « sages » à établir un avis sur les différentes valeurs en concurrence. Le scientifique et le médecin étant renvoyés à la seule exhaustivité de leurs connaissances et à leur jugement moral analogue à celui de tout autre citoyen démocratique, la seule position possible est celle d'une délibération éclairée.

La béance théorique des comités d'éthique est évidemment philosophique, c'est-à-dire réflexive au sens d'une restructuration des concepts éthiques en fonction des nouvelles possibilités d'action sur le vivant. Aussi, serait-il souhaitable de panacher les comités d'éthique de philosophes compétents sur les problèmes de l'éthique contemporaine. Ceux-ci n'ayant aucunement les réponses absolues aux questions éthiques, mais pouvant éclairer sur les enjeux, les antécédents et la logique des choix éthiques des biotechnologies²³. Les situations historiques sont incomparables et il faut assumer pour le siècle futur une puissance inédite dont la légitimité est redevable à l'argumentation commune : les arguments d'irréalité, d'objectivisme, de gratuité, d'appauvrissement philogénétique, d'éthique du bonheur, d'élitisme social, d'anormalité biologique ou temporelle, se combattent et vont se lever demain pour ou contre un nouveau pouvoir sur l'humain. Si le droit démocratique repose sur un consensus institutionnel censé exprimer une majorité sociale par la fonction représentative des assemblées législatives, il doit aussi *résister* au sens commun en s'accordant avec les argumentations sociales sur la légitimité. En ce sens, l'éthique est vivante et répond à l'évolution du monde.

23. On retrouve ici le problème de la compétence platonicienne de la détermination des éléments de la société. Comme Karl Popper l'indique dans la *Société ouverte et ses ennemis* (tome 1, Seuil, 1979), on inclinerait définitivement à penser que tout cognitivisme éthique à base biologique est utopique et totalitaire.

Le marché biologique

La technicisation et l'informatisation des sociétés conduit vers une gestion radicale du social articulée sur le politique et perméable aux normes économiques en vigueur. L'idéologie de la performance, alimentée par les angoisses sociales de la faillite économique et motivée par l'appétit de puissance est le premier moteur de l'utilisation des technologies industrielles aujourd'hui²⁴. Il convient de noter avec force que la menace contemporaine sur l'eugénisme est l'inverse de l'eugénisme social et raciste qui apparut sous le nazisme, puisque le libéralisme économique répond essentiellement à la demande individuelle régie par des fantasmes liés aux représentations collectives du cinéma ou du *show-business* — toutefois, il n'est pas exclu qu'un eugénisme nationaliste réapparaisse. Il est probable que le coût et l'aspect pénible de ces contrôles eugéniques les restreindront longtemps, mais on ne voit pas comment les empêcher durablement, poussés qu'ils sont par toute la mer du rationalisme moderne. Les scientifiques les plus conscients de ce problème avouent que le facteur économique sera déterminant — certains organismes privés tels que les CECOS se donnent déjà des droits sur les nouvelles technologies de fécondation et de DPI²⁵. Le spectre de la spécialisation et de la performance d'entreprise menace la conscience individuelle, acceptant ou rejetant sa genèse.

Le normatif est nécessairement affecté par l'urgence de la guerre des brevets et des profits des sociétés privées. L'individu n'est une valeur en soi que dans la limite où il ne contredit pas la logique du marché, pour devenir son instrument et bientôt son produit. Voilà la vraie dimension du problème : tous les dangers découlent de l'absence d'une éthique de la prévalence du respect humain sur toutes les valeurs économiques. La logique de la concurrence et de la performance est le dynamisme aveugle qui pourrait entraîner les bioéthiques sur le terrain de l'instrumentation, de la banalisation,

24. Le champion de cette disponibilité des biotechnologies aux lois du marché est Robert Edwards.

25. Jacques Testart, *op. cit.*, p. 146.

et de la rationalisation de l'ontogenèse alors que la contingence, heureuse ou malheureuse, est au centre de la gravité éthique. Toute commercialisation de la personne, que ce soit par sa procréation ou par le contexte de sa genèse, menace sa transcendance éthique et l'association de l'amour et de la reproduction humaine, dont le sens métaphysique réside en une perpétuation de la vie dans un acte d'amour, comme maintien d'une présence transcendantale et créatrice qui fait exister le monde. La réduction du sacré aux limites de la vie et de la mort est aussi celle d'une transcendance de l'amour qui s'oppose à tout réductionnisme technologique du sujet. Un surcroît d'attention à la considération humaine doit compenser ce que les sociétés mercantilistes dévaluent. Un très net partage sépare aujourd'hui les systèmes qui radicalisent leurs fondations dans des totalités *axiologiques* cohérentes dont l'Église catholique et les systèmes dits *délibératifs* de détermination du droit, qui ne postulent d'autre transcendance que celle de la conscience humaine. La norme catholique est l'unité indissociable de la sexualité et de la procréation que la contraception et les biotechnologies dissocient radicalement ²⁶. On peut faire remarquer que, ce faisant, l'Église rompt une autonomie du plaisir relativement aux fins biologiques. En cela, l'Église est cohérente dans sa condamnation de l'homosexualité, de l'euthanasie ou du suicide : dans tous les cas, c'est une « structure biologique » qui est posée comme normalisante en morale et en éthique. Pour l'Église, les biotechnologies représentent l'une des plus graves atteintes à l'enracinement de la morale et de l'éthique dans le terreau d'un droit naturel résultant d'une norme ontologique enracinée dans l'ordre du créé ²⁷.

26. Après l'instruction *Donum Vitae* de 1987, la cuvée 1992 annonce : « Les techniques qui provoquent une dissociation des parentés par intervention d'une personne étrangère au couple (don de sperme ou d'ovocyte, prêt d'utérus) sont gravement déshonnêtes. Ces techniques d'insémination et de fécondation artificielles hétérologues lèsent le droit de l'enfant à naître d'un père et d'une mère connus de lui. (...) Pratiquées au sein du couple, elles sont peut-être moins préjudiciables, mais elles restent moralement irrecevables. Elles dissocient l'acte sexuel de l'acte procréateur. » (in *Le Monde*, 13 novembre 1992, p. 12.)

27. Cela dit, l'Église est paradoxalement tenue d'accepter une thérapie génique

On a beaucoup dit que la psychanalyse et la théorie de la relativité générale étaient les révolutions théoriques du xx^e siècle ; il semble probable que s'amorce une nouvelle révolution, qui se réalisera au siècle prochain : la modification planifiée de l'ontogenèse assistée par la cartographie du génome humain. Un nouveau territoire s'ouvre à la puissance des avidités économiques, où l'on s'empare des sciences comme d'un instrument pour capitaliser les ressources en faisant de l'homme un simple moyen pour la logique du profit.

sur l'embryon puisqu'elle le reconnaît comme personne ; ici les biotechnologies vont dans le sens de l'Église ! « L'embryon devra être défendu dans son intégrité, soigné et guéri dans la mesure comme tout être humain » (*Catéchisme de l'Église catholique*).

Contes à rebours

Révolution

Écoute,
il était une fois une sorte d'animal originaire des mers
puis des terres,
dépossédé de membres et de sensations
et qui ne marchant ni rampant,
roulait sur son corps tors,
allait partout où la géographie désigne des voies carrossables
ou navigables,
car il roulait aussi bien sur le liquide que le solide,
sur les boues qui se trouvent entre,
sur les neiges naturellement,
Un jour, alors qu'il gravissait, par le moyen de cales,
un escalier antique
ruine d'une civilisation oubliée,
une maladresse le coucha latéral épousant les équerres,
mort,
et réincarné d'un homme qui débarrassant la ferraille
des marches,
descendit à la souplesse du pied un à un les degrés
comme des âges,

Épouvante

Écoute,
l'œil ne serait il pas un parasite fixé sur la face des bêtes,
et qui suce leur sens aux besoins de sa vue,

Écho

Écoute,
la parole revenue des falaises réintroduites pousse à nouveau
la langue à la reconstituer,
trois fois identiques,
puis l'émetteur lassé de sa voix part,
et l'on entend ses pas successifs le suivre,

Mécanique

Écoute,
Créés à vivre de cette manière, ils pliaient leurs bras,
leurs jambes, refermaient
leurs doigts en poing, plissaient le nez, tendaient le cou,
de cette manière illustraient l'attitude,
au lieu que dressés comme des arbres ils auraient pu être
dignes ou sévères,
mais jamais l'écorce ne bloqua leurs membres, leurs peaux,
et ils se tordaient, se mouvaient en vain pour des places
que leurs pantomimes n'arrivaient à tenir,
même endormis où ils rêvaient,

Le temps constitué

Écoute autrefois,
la montre à engrenage battait au poignet sur le pouls,
regarde aujourd'hui les nombres continus pulsés des références
silencieuses des quartz,
imagine quand,
les heures effacées illisibles et sans preuves glaceront le sang,

La création du monde

Écoute au commencement,
il n'y avait pas de début, la terre était sphérique autour du
soleil qu'elle contenait au centre dont elle était propriétaire,
il n'y avait de cette sorte pas de nuit et qu'une saison d'une
unique lumière, ainsi la matière habitable s'expansait vers un
infini perpétuellement fini, et les êtres comme les choses
occupaient l'univers, se mouvaient, croissaient,
se stratifiaient dans tout son espace,
aucun mystère ne stérilisait l'esprit qui se gérait lui même,
écoute,
le soleil prisonnier explosa,
et depuis tourment des débris autour de sa révolte,

Nourriture leste

Écoute le bruit des dents,
bien sûr la vie se nourrit d'elle même,
elle chasse,

Conte issu de pensées

Écoute l'art,
 j'épands ce don que je suis,
 pour naître où nulle part l'être attise ces questions,
 écoute la science,
 la terre ère ronde et pour le temps elle tourne,
 écoute voici le conte,
 une fourmi sur sa croûte,
 écoute encore le récit des temps fabuleux,
 dans l'éther mythé,
 écoute enfin la fin de l'histoire, le dernier des maux,
 Z,

Liberté

Écoute,
 ciel ! l'artifice,

Corps qui coulent diversement combinés,
 loïsibles,
 ouvert de chaque côté de la colonne vertébrale dans le lointain
 des lobes en fragments,
 corps gras embrasés de liquides,
 sang écoulé guidé de lisières imprévues,
 corps importables couverts d'enduit,
 impénétrables,
 sujet à la mort et de la mort fanée,
 corps répétés dans le passé tous les jours,
 inflammation des gènes,
 gent,
 corps de troupes affectées au génie endormis
 sur la dorsale entourés des quais,
 main,
 main sans saveur ni savoir, malséante,

main de mammifères,
de violences en moignons aux manches du bras,
mains de nourritures, des doigts, des derniers poils,
de la pousse des ongles,
axe imaginaire des actes,
morceaux d'une pesanteur sur une corps sans ailes,
corps brimés du temps dressé sur le mollet,
étranger des membres,
observé des yeux insolites nichés sous la coquille,
œil hors des sens, des odeurs métaphysiques des corps,
hors des corps,
proportionné au rigide des réels beuglants,
braqués dans la direction des limites
de la création,
œil enchaîné des plans topographiques messenger de l'utopie
des horizons,
pieds,
pieds désensevelis aux lois des racines,
au debout,
de l'équerre au blanc du mort,
être de la position talonné par l'histoire,
maître du corps prolongé de la pliure des rotules à la linéarité
des roues,
empreinte du corps,
corps encore moi,
désigné,
doigt,
doigt au terme du regard,
dessin du corps, griffe, écriture, jeu de renvoi, réflexe du
corps,
corps introuvables sur la peau, interne de la pensée, membre
exclu de la confrérie des esprits,
corps assidu à naître et porter le fard des vies, pendule pulsé
d'oscillations entretenues d'un poids,
narines,
narines dans le sens du pied fixé à l'oxygène invisible,
en première ligne du front, alliées aux vents des cheveux,

à l'exacte hauteur des sons pris des oreilles plissées,
entrée dans le corps invisible,
corps dedans étalé de morts sans secrets d'entrailles,
vif, sang, plaie, souffle,
corps de narine de front, de poids, d'œil, doigt, membre
doigts en plus grand nombre, ongle, ongles explicables,
corps et dents, dents extraits de fondation,
apparition soudaine entre les mots, os soudain, écumes,
langue la parole entre les dents barricade du corps,
corps choyé, là, imaginaire,
corps étoffe de la substance animée,
parade de l'espace repéré d'un point,
corps orateur, corps palpé d'apesanteur, corps sans plumage,
corps en saillie soutenant la verticale,
corps dans l'espace de terre couvert de fleurs,
corps indissociable du néant, corps équipé de transports
attachés à la corde tordue de veines,
corps fortifié ceint d'attente,
corps encore moi,
disparu,

Sur quelques véhicules de cette inspiration poétique 1

J'achèverai mon parcours dans le métro londonien, avec quelques lignes graffitées sur une affiche par un poète anonyme et rétrograde. Cette publicité — peu nous importe le produit vanté — figurait une pseudo-chaîne évolutive du chimpanzé au ramapithèque, de celui-ci à l'australopithèque, puis de l'homme de néanderthal à un jeune roller-skater, casquette de base-ball, lunettes de soleil sur le nez et Walkman sur les oreilles, chemise à fleurs, larges shorts et baskets fluos, dansant sur sa planche à roulettes.

*Did Charlie make a monkey out of you ?
Do you think you should be living in a zoo ?
Don't you know that's a lie
Cause you know when you die ?
You'll find out you're not a monkey but a fool.
Dad 2*

-
1. Ce court texte constitue la conclusion de la *Préface aux animaux* (à paraître).
 2. « Charlie [Darwin] a-t-il fait de toi un singe ?/Crois-tu que tu devrais vivre dans un zoo ?/Ne sais-tu pas que c'est un mensonge/Car de ta mort tu auras conscience ?/Tu t'apercevras que tu n'es pas un singe mais un idiot./Papa. »
-

Il semblerait que cet obscur poète, par ailleurs non dépourvu d'esprit, soit un créationniste, un de ces tenants de la création divine telle qu'elle nous est décrite dans la *Genèse*, niant la théorie évolutionniste communément admise depuis un peu plus d'un siècle. Cependant, on sait de nos jours que cette évolution n'a pas été aussi linéaire qu'on aurait tout d'abord voulu le croire. Non seulement, plusieurs espèces d'hominidés ont pu cohabiter à la même époque, mais au cours de l'histoire de notre planète, la multiplicité et la richesse des formes du vivant ont grandement varié, avec des pointes (Dévonien, Carbonifère) et des chutes brutales (Triasique, Jurassique) encore inexplicables. L'arbre généalogique traditionnel ressemblerait plutôt à des touffes de fucus soumises aux marées cosmiques, leurs vésicules de flottaisons des familles ayant mieux réussi que d'autres.

On peut s'amuser à imaginer la fureur de notre poète s'il avait été mis en présence de cette citation du maître lui-même aux implications matérialistes fort graves :

Having proved mens & brutes bodies on one type : almost superfluous to consider minds

Charles Darwin³

Quel ravalement ! Quel avilissement ! Quel abrutissement au sens propre du terme ! Comment pourrions-nous être mis au même rang que les chiens et les cloportes ? Que faisons-nous du rire, de la conscience de la mort, de Dieu lui-même et de cette lumière qu'il fait briller au plus obscur de nos âmes ? Je ne m'aventurerai pas dans un tel débat. Je sais seulement avec quelle force ma fille s'accroche de ses quatre membres à ma poitrine quasi-marsupiale, et combien la procréation s'apparente à un involontaire bourgeonnement printanier. Évolutionnisme, créationnisme, je ne pourrais personnellement me tenir dans un camp plutôt que dans un autre. Le Déluge et la nécessité d'une Arche me semblent des réalités bien trop présentes

3. « Ayant prouvé l'unité des corps de l'homme et de la brute : presque superflu de considérer les esprits », *Notebooks on transmutation of species*.

pour les nier. Cependant, l'obligation imposée, non par la science, mais par notre être propre, de vivre dans un zoo me paraît tout aussi évidente, n'en déplaise à l'auteur du petit poème et à nos cousins qui doivent nous supporter. Primate, divin, idiot, chaque jour m'apporte la preuve de notre nature composite et interdépendante. C'est pourquoi je me contenterai de parcourir cette chaîne de l'évolution en tous sens, engagé, et d'en représenter certains moments dans une apparente volonté de connaissance. Apparente, car bien plus qu'une connaissance ou même un chimérique pouvoir, contrôle ou maîtrise, qu'elle m'offrirait, c'est une participation à la réalité physique du vivant que l'activité créatrice seule m'apporte par sa déambulation concentrée, m'empêchant ainsi de n'être qu'un esprit errant. L'animal, l'homme primitif, l'homme moderne ne sont que des variantes d'une permanence qu'il importe de formuler pour mieux y adhérer, et la conscience formulante un épiphénomène cherchant à se débarrasser de son « épi », voulant se retrouver phénomène avec les maigres outils laissés à sa disposition : langage, vision, eux-mêmes signes premiers et peut-être causes de cette « épinomie ». Écrire pour rompre l'orphelinage d'une île mentale. Écrire pour éviter de se taire et de s'aveugler. Écrire pour pouvoir enfin se taire, fermer les yeux et se sentir être parmi les autres, lorsque la conscience de la mort devient, elle, mensonge.

Quelques instants avant d'être brûlé vif, Giordano Bruno cite Plotin :

Que ce qu'il y a de divin en moi rejoigne ce qu'il y a de divin dans la nature.

Bestiaire de l'anguille.

IN MEMORIAM DILANI THOMASII

Le bois sur les rives ne cesse lentement de se débattre
Tandis qu'au bout du fleuve une invasion de cigales
Perce les fenêtres. Le fleuve est loin de la plaie d'été.
Combien de temps faudra-t-il encore pour que l'homme,
Du singe étiré qu'il est, devienne mammifère aquatique ?
Que ses membres se rejoignent et se palment ?
Que sa tête ruisselante émerge et replonge
D'un souffle puissant dans les gerbes d'orage inverse ?

Les cigales, leurs larves, passent trois années sous terre
Avant de surgir pour crever l'écorce des arbres
Et sucer la sève, distillant leur masse native.
Nos destins journaliers suintent en lents goutte-à-goutte
De la forme animale, par l'alambic du sol, dans la fièvre serpentine,

Comme un venin dans le canal de son crochet.
Combien de temps faudra-t-il encore pour
Que nous dévorions nos métamorphoses, spectacle offert
À l'immobile reptile, théâtre suspendu du basilic ?

Les lois de l'évolution en pluie nous dament comme du sable.
Il nous faut une reine, des taupes nues et sociables.
Des vieillards monkeys s'appuient d'une main l'un sur l'autre.
Tu te bouches les oreilles et c'est une jungle que tu entends
À travers les os de ton crâne. Tu le rases. C'est un chaume.
Pourras-tu te glisser comme un serpent dans le lit des nids,
Dans le train des choses dont, scarabée, tu roules la bouse,
La manges, l'enterres, la fleuris, la broies ?

Bestiaire du cerf-volant...

Et de la longue chenille qui traverse le ciel de part en part,
Son code urticant, ce petit garçon nu qui achève
Ce ciel en y nageant, dauphin des locustes,
Vous laisse bouche bée entrer en enfer comme une flèche.

Comme il est détestable de retrouver sa langue
Maternelle sans voile. Qui a crié ?
Il a rêvé que la mycose emplissait ses yeux,
Ses oreilles, épaississait le tunnel de sa respiration
Et qu'il ne lui restait que sa langue, celle d'un taureau,
Pendant dans l'arène voilée de la cape.

La roue du fleuve à l'embouchure s'achève dans les sables
Laugharne et les crêtes charbonneuses environnantes.
Le boutre gît couché après sa descente sur les différents états de l'eau.
Cette barque relie du soleil les deux capitales-galets,
Tournoyant autour de l'intestin de cuir et le tranchant de la main :
Nef, marchande hôtesse et, combattante, vaisseau scorpion.

Le désert se représente le casque d'un crâne, du poisson sec,
Quelques feuilles manuscrites calées sous une pierre.
D'une rive à l'autre, l'énorme grenouille hydrophobe pose sur vous
La loi qui pourrait être celle du hasard si elle n'était
Celle de l'invisible qui vous presse
Les yeux deux boutons d'ivoire sur la côte somali,

Mais danser dans le cratère le coup de pied de la grue
Tandis que défilent sur les crêtes des silhouettes amies
À l'assaut de leur vie propre. Être ce fourmi-lion
À l'affût dans son entonnoir de conscience.

Le temple de Diane, sur le piton turgescent des Buttes,
Vous trace sa frontière d'eau comme une ceinture.
Le scarabée est revenu deux fois dans les bras de l'ange
Et la maison s'envahit peu à peu d'insectes :
Fourmis, cloportes, araignées, grillons, noctuelles.
Est-ce leur image qui les attire ou ce pont ?

Pour les besoins d'un sang à température constante,
La chaloupe-taureau s'est frappée contre le roc des temps.
Nous plongeons, vautours vêtus d'eau,
Dans la grotte de l'Homme de Fer.
Virginie, les loups seront là pour te convaincre et te plaire
En attendant le retour des chasseurs.

Bestiaire de la tête de mort.

Être en recherche d'un entablement rocheux
Dont la flore végétale marine serait
Suffisamment riche et le sol
Suffisamment uni pour y dormir
Comme ces crustacés myriapodes
Dans les roulements du ressac,
Sinon pieds nus sur des barbelés rouillés
Pour finir accrochés sous des falaises rouges
Crissantes de grès ocres parfois verts
Que le cuivre et le fer colorent.

La nuit des reflets où le phare creuse comme,
Comme le fait la houle planctonique phosphore
Et la mer ne retient jamais ses paroles
Sur nos ventres de coquillages les oreilles
En conque et le trou d'une lampe.
Sommes-nous surveillants ou en attente ?

C'est l'aube d'un jour nouveau
Pour le fragile fucus humain en nage ;
Se reproduit en expulsant par la bouche ses jeunes
Dans un milieu qui pourrait ici se dire inhospitalier.

Boops Salpa le poisson-perroquet
Broute les prairies de zostères.
La guêpe maçonne attaque pique et tâche
D'emporter la lourde carcasse
Sous le charme des corolles de Padina Pavonia
Consacrant l'union du minéral et du végétal
Là où même la pisse sert à nourrir les papillons.

(Ils étaient là serrés ailes sur ailes
Frémissements posés sur la flaque.)

Bestiaire de la chauve-souris...

Ne se nourrit que de fruits et d'insectes ;
Vagabondage diurne d'un trop ébloui.

Si tu te tiens au pied d'une cascade
Et que la marée des animaux soit montante,
Tu recevras bientôt une pluie de créatures :
Coquillages, perroquets, poissons, anémones, couleuvres
Et même antilopes et tatous et singes, certains mâles,
D'autres femelles, qui empliront et couvriront
La pure contemplation de tes os, la démarche de tes cellules.

Tu ne pourras bientôt plus respirer sous la mousse
Et le crépitement des chutes. Corps fossiles imprimés
Sous la roche et le caquetage d'un merle,
And even the slug won't save you then
*In this Happy Neurosis Island*⁴. Mais elle te fuit.

4. « Et même la limace ne pourra te sauver Dans cette Île Heureuse de la Névrose. »

Mais elle te suit. L'amplitude des marées
Sur des centaines de mètres de boue et de vase
Dans lesquelles le pied s'enfonce et soudain la fosse,
Sous le jet d'un coquillage, déprime l'éboulis souterrain,
L'effondrement qui mène aux entrailles ourlées
De pruniers et de chênes, de fougères sous la voûte
De nacre noire à reflets d'or et d'argent dont on ne saurait
Dire s'il s'agit de couleurs, dans la plus ancienne cave,
La plus tortueuse cage, la pièce de cuir et son pelage relique
Qui nous observe dans sa vitrine, à contempler la lune.

« Il connaissait un jardin où les choses croissaient plus vieilles »,
Une vitrine remplie de plusieurs centaines d'oiseaux-mouches,
Et si tu as des ongles, prépare-toi à les ronger
Car les pagodes germinantes fendront la terre
Comme ces bambous dont nos troncs sont les pousses
Araucaria le puzzle des singes.
« Ce sont ces salauds d'Américains qui l'ont poussé à boire
Et ont dû le tuer vous savez. »

Ces demeures sacrées

Avant-propos

Composé pour l'occasion, le texte qui suit est extrait de l'autobiographie de Jacques Charles Senez, dont nous avons choisi de garder le titre.

Si nous avons rencontré l'auteur au cours d'une recherche sur la mémoire vivante des *Cahiers du Sud*, croisée dans sa période de gloire, celle où Marseille accueillit toute l'Europe intellectuelle fuyant l'avancée nazie, ce n'est pas le témoin d'une petite histoire littéraire ni celui de l'Occupation qui est invoqué ici, mais l'acteur d'un morceau d'histoire de la biologie¹.

Jacques C. Senez est né le 14 janvier 1915 à Marseille où il fit des études de médecine qu'il conclut par une thèse de pédiatrie ; il préféra ensuite la carrière de microbiologiste à celle, promise, de chef de service hospitalier. C'est le parcours qui s'en suivit que nous publions ici : un parcours qui commence à l'Institut Pasteur avant que les trompettes de la gloire ne réveillent le vieux bâtiment dont Jacques C. Senez ne resta jamais très éloigné tout en traçant son propre chemin, au CNRS, à Marseille ; un chemin qui l'amena, avec l'étude de la dégradation microbienne des hydrocarbures, à mettre au point pour la BP la production industrielle de protéines alimentaires à partir du pétrole ; un moment d'histoire des sciences durant lequel l'affaire Lyssenko, incursion violente du politique chez le savant, lui fit rendre sa carte du PCF. Mais J. C. Senez n'a pas seulement raconté un moment d'histoire, il l'a écrit.

Dans ce récit, structuré par son apport personnel dans les domaines de la recherche fondamentale et appliquée, J. C. Senez nous fait ressentir l'ambiance qui prévalait, à la fin de la Seconde Guerre mondiale, dans le milieu scientifique ; une ambiance toute faite d'autorité et de décisions personnelles qui le lanceront dans sa « grande affaire » : les SCP (*Single*

1. Nous publierons dans nos parutions consacrées aux *Cahiers du Sud* (n° 11, 1993) et à la guerre (n° 13, 1994), quelques autres passages choisis de *Ces demeures sacrées*.

Cell Protein). Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, la production primaire pouvait échapper aux contraintes de la nature et aux vicissitudes climatiques de l'agriculture. De 1958 à 1972, il présenta ce programme devant des commissions de l'ONU', de l'OMS, de l'UNICEF et de la BIRD : on disait alors qu'il suffirait de 1 % du pétrole extrait pour résoudre le déficit protéinique mondial. On parla d'éradiquer définitivement le problème de la faim dans le monde.

À Lavéra, près de Martigues, une première usine expérimentale produisit 40 000 tonnes de levures alimentaires. Sur le même principe, les sociétés BP et ENI construisirent une usine de 100 000 tonnes par an en Sardaigne ; puis la société Liquichimica, une autre en Calabre ; les Japonais de Dainipon Ink Company construisirent en Roumanie une usine qui atteignit une production de 120 000 tonnes par an ; en URSS, 3 millions de tonnes par an sont encore produits. Enfin, Imperial Chemical Industries se lança dans la voie des SCP bactériennes à partir de méthanol et construisit à Billingham une usine de 55 000 tonnes par an.

Avant que les chocs pétroliers puis les conditions de production agricole excédentaire en Europe ne ralentissent son développement, le programme SCP se heurta, dans les pays à économie de marché, à d'importantes campagnes d'opinion. Que les gros producteurs américains de tourteau de soja (qui domine le marché mondial des protéines fourragères) eussent tout intérêt au développement de celles-ci est évident. Quoi qu'il en soit, malgré d'innombrables tests nutritifs, tous positifs, et toxicologiques, tous négatifs, le « bifeck de pétrole » (comme furent alors appelés les bio-protéines) continua d'être redouté par une certaine partie de l'opinion. Au Japon, alors que plusieurs firmes se préparaient, dès 1973, à une production à grande échelle, le gouvernement dû se plier devant l'action d'associations de consommateurs. En Italie, la même situation aboutit, en 1977, à un décret interdisant la commercialisation des SCP — les usines italiennes ne fonctionnèrent jamais. Enfin, en septembre 1978, la BP fit officiellement connaître sa décision d'abandonner, pour raison de compétitivité économique, toute recherche et développement sur les SCP².

Thierry Discepolo

2. Quelles que soient les conditions réelles du marché de l'agro-alimentaire, ce n'est certainement pas un hasard si, en février 1979, le gouvernement des États-Unis permit le rachat de la Standard Oil par la BP puis l'autorisa à exploiter de nouveaux gisements de pétrole en Alaska.

Ces demeures sacrées

Mémoires

Je rêvais de devenir microbiologiste, comme mon père, et ce rêve se concrétisa lorsqu'une lettre de Marcel Raynaud m'apprit qu'il m'avait trouvé une place de stagiaire à l'Institut Pasteur. Nous étions en novembre 1942. Mon patron à l'hôpital de La Conception, Paul Giraud, m'accorda un congé d'une année et je pris le train pour Paris. Dès le lendemain de mon arrivée, j'allai à l'Institut Pasteur, parcourant pour la première fois un chemin qui devait me devenir familier. Rien ou presque n'a changé depuis. Toujours, au sortir du métro, le même kiosque à journaux et, sur le boulevard Pasteur, les mêmes maisons, les mêmes arbres malingres, si immuables qu'ils semblent artificiels. Au coin de la rue du Dr Roux, toujours la même pharmacie dont l'enseigne, peinte sur un mur aveugle, sert de repère pour indiquer aux chauffeurs de taxi fraîchement immigrés où tourner pour arriver à l'Institut Pasteur. De part et d'autre de la rue, les mêmes grilles bordent toujours les mêmes bâtiments Second Empire, la microbiologie à gauche, la biochimie à droite. La place que Marcel m'avait obtenue était au laboratoire des bactéries anaérobies, dirigé par André-Romain Prévot.

Depuis la grande époque pastorienne, l'Institut Pasteur s'était quelque peu assoupi sur ses lauriers. Un jour, André Boivin me dit que deux ou trois ans avant la guerre il avait fait visiter l'illustre maison à Topley, un éminent bactériologiste anglais. Il lui montra la chambre de Pasteur, sa salle à manger, et les ballons de ses expériences sur la génération spontanée, sans oublier la crypte pharaonique où il est enterré. À la fin de la visite, Topley dit : « Oh ! Je vois ce que c'est. C'est la maison d'un dieu mort et tout le monde marche sur la pointe des pieds, de peur de le réveiller. Mais les dieux morts ne se réveillent jamais. » Sans doute cette cruelle remarque reflétait le léger agacement d'un Anglais devant les outrances de l'hagiographie pastorienne. Quant au fond, Topley n'avait pas tout à fait tort. Mais il ne pouvait deviner qu'à l'Institut Pasteur, comme ailleurs dans le monde, de grandes choses couvaient sous une torpeur apparente et que la Belle au Bois dormant allait bientôt se réveiller.

Mon nouveau patron, Prévot, était grognon et souvent amer, mais d'une parfaite courtoisie pour ses élèves. Ses deux principaux sujets de conversation étaient ses rhumatismes et son prédécesseur, Weinberg, dont il avait été longtemps l'assistant et le souffredouleur. Il racontait comment Weinberg s'était introduit dans l'intimité des Rotschild et se faisait prêter leur Rolls lorsqu'il allait voir un ministre ou un ambassadeur. « C'était fréquent, ajoutait-il, car il intriguait partout et sans cesse. Et avec ça, d'une ignorance crasse. Figurez-vous qu'un jour il me convoqua dans son bureau pour me parler d'un article qu'il venait de lire, ce qui lui arrivait rarement. Il me demanda ce que signifiait ce N majuscule dont il était fait plusieurs fois mention. "Mais, lui dis-je, c'est l'azote !" Il n'avait plus ouvert un livre de chimie depuis cinquante ans, et pour lui l'azote c'était toujours Az. »

Dans le domaine des anaérobies, Prévot s'était acquis une réputation internationale. Son grand œuvre était une nouvelle classification des bactéries anaérobies, basée à la fois sur des caractères morphologiques et biochimiques, ce qui était très nouveau et me séduisait. À cette époque où la chromatographie n'existait pas encore, les méthodes analytiques étaient fastidieuses et ardues, et je passais de longues journées à analyser des mélanges d'acides

organiques par distillation fractionnée. J'apprenais aussi à isoler les bactéries anaérobies en culture pure, ce qui devait par la suite me rendre de grands services.

Il y avait à l'Institut Pasteur d'autres personnages hauts en couleur, mais celui qui s'apprêtait à réveiller la Belle au Bois dormant et dont tout le monde parlait à l'Institut, c'était André Lwoff. Ayant à peine atteint la quarantaine, il venait d'être nommé chef de service et travaillait sous les combles du bâtiment de biochimie dans quelques petites pièces mansardées, où, avec l'aide de sa femme Marguerite et de quelques collaborateurs, il avait découvert les facteurs de croissance microbiens et allait bientôt découvrir les prophages. Comme la plupart des pastoriens d'alors, il avait fait des études médicales avant de se consacrer à la recherche. Sous la direction d'Édouard Chatton, il avait tout d'abord étudié les protistes marins à Banyuls et à Roscoff, et ses travaux dans ce domaine font toujours autorité. Comme le dit François Jacob, qui trace de lui, dans *La Statue intérieure*, un portrait saisissant, c'était un grand seigneur aussi bien par l'élégance des manières et de la parole que par l'élévation de la pensée. À l'époque dont je parle ici, je ne le connaissais que par ouï-dire, sans jamais avoir osé l'approcher.

Je ne rencontrais pas non plus Jacques Monod. Il n'avait pas encore rejoint Lwoff dans son grenier et était toujours à la Sorbonne. Quant aux autres personnages destinés à rejoindre Lwoff dans son grenier, eux non plus n'étaient pas encore à l'Institut Pasteur. François Jacob était à Londres, dans les Forces françaises libres, et Élie Wollman se cachait à Toulouse.

(...)

C'est au début de l'année 1947 que je rencontrais François Canac qui, spécialiste en acoustique, avait dirigé à l'arsenal de Toulon le centre de recherche de la marine. Après le sabordage de la flotte, ce centre avait été dissous par les Allemands et Canac avait été recueilli avec tout son personnel par le CNRS, alors dans sa première enfance. Ils avaient échoué à Marseille, rue Saint-Sébastien, dans l'ancien collège de jésuites où mon père avait fait ses études et qui, depuis le petit père Combes et la loi de séparation, était

resté inoocupé. De ce relogement de fortune était né le CRSIM, initiales du Centre de recherches scientifiques industrielles et maritimes.

Canac, à qui je dis que j'étais microbiologiste, m'invita à venir le voir au CRSIM. En pénétrant pour la première fois dans ce sombre bâtiment, je me souvins de mon père qui y avait été pensionnaire, et je pensai à lui en gravissant un grand escalier où je l'imaginai, descendant sagement en rangs, sous la conduite d'un père jésuite, pour aller jouer dans la cour de récréation plantée de gros platanes qu'il avait sans doute connus beaucoup plus petits. Sur le mur de l'escalier il y avait une inscription que, par la suite, je devais relire chaque jour pendant des années. C'était la citation d'un discours de Pasteur, dans le style suranné qui, au siècle dernier, était de mise pour les distributions de prix. Elle glorifiait « ces demeures sacrées que l'on désigne du nom expressif de laboratoires » et que Pasteur, employant comme la vieille marquise de Cambremer la règle des trois adjectifs, qualifiait de « temples de l'avenir, de la richesse et du bien-être », où « l'humanité grandit, se fortifie et devient meilleure ». Je parlai à Canac de mon stage à l'Institut Pasteur, et il me proposa d'entreprendre au CRSIM des recherches sur la corrosion biologique, ce que j'acceptai aussitôt. À cette époque où l'équipement scientifique des laboratoires de microbiologie était encore sommaire, celui que je trouvai rue Saint-Sébastien l'était plus encore qu'ailleurs. C'est pourquoi je décidai de travailler sur les bactéries sulfato-réductrices. Elles avaient été découvertes par Beijerinck au début du siècle, et ce que j'en savais me paraissait fournir un bon sujet de recherche, accessible aux modestes moyens techniques dont je disposais. Ce sont ces bactéries qui, proliférant dans la vase des marais et les sédiments marins, produisent l'hydrogène sulfuré, dont l'odeur d'œuf pourri empeste l'air de Venise en été. Mes recherches commencèrent et Canac me fit alors nommer attaché de recherche à temps partiel, et c'est ainsi que débuta ma carrière au CNRS.

À l'Université nouvelle, j'avais fait la connaissance de Georges Petit. Lui aussi communiste, il était professeur de zoologie à la faculté Saint-Charles et dirigeait la station marine d'Endoume. Pour y aller, on prenait le tramway de la Corniche et, par un lacs de ruelles bordées de cabanons, on arrivait à un petit bâtiment de

deux étages à la façade rongée par les embruns. En face, le château d'If et les îles du Frioul, blanches et dénudées, émergent de l'eau bleue, comme si la mer s'était retirée et comme si la rade immense était un de ces lacs de barrage où, en été, on voit ressortir les ruines des villages engloutis. Au loin, le phare du Planier. À gauche, les hautes collines de Marseilleveyre, prolongées par le profil dentelé de l'île Maire et par son Tiboulen, petit récif dont la silhouette bossue ressemble à un dromadaire accroupi sur l'horizon. De l'autre côté de la baie largement ouverte, la côte descend lentement vers le cap Couronne et l'estuaire du Rhône. Vaste et admirable paysage purement minéral, dont Georges Suarès disait qu'il est comme on imagine la Grèce et comme elle devrait être.

Petit s'intéressa à mes projets de recherche et m'encouragea à étudier les bactéries marines sur lesquelles, à cette époque, on ne savait pas grand-chose. Il avait un petit navire océanographique et m'emmena faire avec lui quelques sorties dans l'étang de Berre. On l'atteignait par le canal souterrain du Rove, dont l'entrée se trouve à l'Estaque, tout à l'extrémité du port de commerce. Le bateau s'enfonçait dans les ténèbres et le halètement de son moteur diesel se répercutait sous la voûte qui, depuis, s'est effondrée et n'a jamais été restaurée. Au bout de longues minutes, on débouchait enfin dans l'étang ensoleillé. Se penchant au bord de l'embarcation, on voyait parfois d'innombrables méduses translucides, aux tentacules frangées d'un liseré violet, se déplaçant toutes ensemble vers une destination mystérieuse. Petit récoltait du plancton, et moi des échantillons d'eau et de vase que je ramenaï rue Saint-Sébastien.

Pour isoler les bactéries sulfato-réductrices, j'utilisais les méthodes qui avaient déjà permis à Beijerinck et à Winogradsky de découvrir les micro-organismes responsables des grands cycles naturels du soufre et de l'azote. Rien de plus simple que le principe de ces méthodes. Elles consistent à ensemercer un peu d'eau ou de terre dans un milieu de culture où la seule substance nutritive est celle que l'organisme à isoler est seul à pouvoir utiliser pour sa croissance. Ainsi favorisé, cet organisme se développe préférentiellement, de sorte que, en répétant plusieurs fois l'opération, il finit par prédominer très largement, même si l'inoculum initial n'en contenait que quelques individus parmi des millions d'autres. Une goutte de culture étalée

sur le même milieu, solidifié par l'agar ou un gel de silice, donne alors naissance à des colonies presque toutes formées par la bactérie recherchée et, par repiquage d'une d'elles en milieu liquide, on obtient enfin une culture pure. Par ce truc qui permet au bactériologiste de retrouver une aiguille dans une meule de foin, j'isolais quelques souches de bactéries sulfato-réductrices dont, par la suite, je devais étudier la physiologie et les activités biochimiques pendant de nombreuses années.

(...)

Quelque temps plus tard, ce fut l'affaire Lyssenko. Elle débuta par un article des *Lettres françaises*, l'hebdomadaire d'Aragon, qui annonçait à son de trompe la naissance en URSS d'une « science nouvelle ». Il y était dit qu'à l'Académie soviétique d'agriculture venait de se tenir un grand débat au cours duquel Lyssenko, un biologiste dont personne en France n'avait entendu parler, avait révolutionné à la fois l'agronomie, la génétique et l'épistémologie tout entières. D'après l'article, Lyssenko, s'inspirant de Mitchourine, un autre inconnu, avait réussi à accroître prodigieusement le rendement du blé, en le faisant germer dans des conditions artificielles de température et d'humidité. Il prétendait avoir ainsi démontré la vieille théorie de Lamarck sur la transmission héréditaire des caractères acquis sous l'influence du milieu, et il en tirait argument pour attaquer violemment Mendel, Weismann, Morgan et les autres fondateurs de la génétique classique.

Pour celle-ci, les caractères héréditaires de tous les êtres vivants sont déterminés par des facteurs spécifiques, les gènes, dans lesquels réside le pouvoir de reproduction conforme de l'individu et de l'espèce. Tout changement d'un de ces caractères implique nécessairement la modification du gène correspondant, c'est-à-dire une mutation. Celle-ci peut être spontanée ou induite par divers agents physiques et chimiques, tels que les rayons x, la lumière ultra-violette ou la colchicine. Mais, quelle que soit l'origine de la mutation, la nature du gène muté et donc du caractère modifié s'opère toujours au hasard. En conséquence, l'évolution des espèces, découverte par Darwin, ne peut s'expliquer que par des mutations aléatoires, et le seul rôle du milieu extérieur est de sélectionner celles de ces mutations qui, étant favorables à l'espèce, lui permettent

de mieux affronter la concurrence vitale. De cette distinction fondamentale entre les déterminants de l'hérédité et leur expression somatique, ou, comme disent les généticiens, entre génotype et phénotype, il résulte que ni un chien dont on a coupé la queue, ni un manchot ayant accidentellement perdu un bras, ni une céréale amenée à germer plus précocement par les conditions du milieu, et cela même pendant de nombreuses générations successives, ne peut transmettre ces caractères phénotypiques à leur progéniture.

Pour Lyssenko, nier la transmission héréditaire des caractères acquis sous l'influence du milieu revenait à nier que l'homme puisse modifier la nature à son profit, ce qui était incompatible avec les fondements mêmes du marxisme et du matérialisme dialectique. Pis encore : la sélection naturelle des mutations était une déviation métaphysique et bourgeoise du darwinisme. Inspirée de Malthus, elle légitimait la raison du plus fort et conduisait tout droit au racisme, de sorte que ceux qui la professaient et qui persisteraient à le faire se classaient de fait parmi les héritiers du nazisme.

Dans les jours qui suivirent l'article des *Lettres françaises*, une ardente polémique s'engagea dans la presse. Le journal *Combat* procéda à une grande enquête auprès des plus éminents biologistes. Bien qu'à l'époque ils fussent presque tous membres ou plus ou moins compagnons de route du Parti, leurs réponses allèrent d'une réserve embarrassée, comme celle de Jean Rostand, à une vive indignation. Les plus véhémentes furent celle d'un généticien chevronné, Maurice Daumas, et celle de Jacques Monod, consulté par *Combat* à la fois pour sa notoriété scientifique naissante et pour son rôle de premier plan dans la libération de Paris, aux côtés des communistes. Tous deux qualifiaient de falsification grossière les thèses de Lyssenko sur la génétique classique et dénonçaient, dans les procédés d'intimidation employés pour imposer sa pseudo-science comme vérité d'État, un terrorisme intellectuel qui ramenait au temps de l'Inquisition et au procès de Galilée.

Voulant en savoir davantage sur le fond de l'affaire, je lus le compte rendu intégral de la troisième session de l'Académie soviétique d'agriculture. Sa lecture, qui me prit plusieurs jours, me consterna. Dans le rapport-fleuve de Lyssenko, je ne trouvai aucune preuve expérimentale pour réfuter la génétique classique, ni pour démontrer

la réalité de cette transmission des caractères acquis sur laquelle reposait la nouvelle « biologie mitchourinienne ». Plus encore que ce discours en langue de bois, tissu d'affirmations péremptoires, dont d'autres que moi ont depuis épluché les contre-vérités, ce qui me consterna furent les nombreuses interventions qui s'étaient succédées pendant les huit journées de la session. D'une platitude écœurante, elles donnaient l'impression d'une meute se précipitant à la curée pour se partager les dépouilles des « mendéliens-morganistes ». Ceux-ci, terrorisés, s'étaient tus. Un seul avait cependant osé exprimer quelques timides critiques et son intervention avait été plusieurs fois interrompue par les lyssenkistes. Le lendemain, il était revenu à la tribune. Ce qu'il allait dire, avait-il déclaré, était sans aucun rapport avec l'article de la *Pravda*, paru la veille, dans lequel le camarade Jdanov avait fait connaître la totale approbation de Lyssenko par le camarade Staline. Mais, après une nuit de réflexion, il avait soudain compris ses erreurs et se rangeait sans réserve aux côtés du camarade Lyssenko. Dans sa résolution finale, assortie d'une adresse dithyrambique à Staline, qualifié de « plus grand savant de tous les temps », le congrès demandait unanimement la réorganisation de fond en comble de la biologie soviétique et une révision complète des programmes d'études, encore imprégnés de « mendélisme-morganisme ».

Cette irruption fracassante de l'idéologie politique dans le temple sacré de la science me parut sacrilège et en complète contradiction avec le marxisme pour lequel je m'étais enthousiasmé parce que j'avais cru y trouver le triomphe de la raison, de l'humanisme et de l'objectivité scientifique. La même année, le procès Kravtchenko révélait au monde entier le véritable visage du paradis soviétique. Je cessai d'aller aux réunions de cellule et ne renouvelai pas ma carte du Parti. Lorsqu'il m'arrive de la retrouver au fond d'un tiroir, je me demande, non sans un peu de nostalgie pour mes illusions perdues, ce que j'étais allé faire dans cette galère.

En URSS, le lyssenkisme prit rapidement des proportions délirantes. Un de ses fanatiques, Bochyanev, dont on découvrit plus tard que c'était un faussaire, proclama que grâce à la biologie mitchourinienne, il avait transformé réversiblement des virus en bactéries et obtenu

celles-ci à partir des antibiotiques qu'elles produisent. Une autre biologiste, Olga Lepechinskaia, prétendit avoir converti des cellules végétales en cellules animales. S'en prenant à Pasteur, qu'elle traitait d'idéaliste et de réactionnaire, elle affirma avoir démontré la génération spontanée d'infusoires dans des décoctions de foin, ce qui lui valut les félicitations de l'Académie des sciences et le prix Staline.

Débordant le cadre de la biologie, les partisans de Lyssenko partirent à l'assaut de toutes les autres branches de la science. Au nom du matérialisme dialectique, la cybernétique et le freudisme furent mis à l'index. Einstein et la mécanique quantique furent un moment visés, mais les physiciens soviétiques réagirent efficacement en menaçant de ne plus travailler à la bombe atomique. Par contre, en biologie, le désastre fut total. L'enseignement de la génétique classique fut interdit et les manuels retirés des bibliothèques. Les généticiens récalcitrants ou simplement accusés de tiédeur furent chassés des universités et plusieurs d'entre eux déportés en Sibérie.

Le règne tyrannique de Lyssenko sur la biologie et l'agriculture soviétiques survécut à la mort de Staline et continua jusqu'à la destitution de Khrouchtchev en 1964, soit pendant près de vingt années. Le bilan fut d'autant plus catastrophique que cette période coïncida avec la naissance en Occident de la biologie moléculaire et la confirmation éclatante qu'elle apporta à la génétique classique. La biologie soviétique prit ainsi un énorme retard qu'elle n'a pas encore rattrapé aujourd'hui, trente ans plus tard. Quant aux prétendues découvertes agronomiques de Lyssenko, elles se sont toutes soldées par des désastres économiques, ce qui a d'ailleurs joué un rôle décisif dans l'éviction de Khrouchtchev.

J'ai vu Lyssenko à Moscou, peu après sa disgrâce. C'était au restaurant de l'Académie des sciences, tout au bout de Leninski-prospect. Quand il vint s'asseoir tout seul, à une table voisine de la nôtre, les collègues soviétiques avec qui je déjeunais me chuchotèrent son nom très bas et sans oser le regarder, comme s'ils avaient encore peur de lui. Il était très maigre, avec des joues creuses, des lèvres minces, une chevelure en broussaille et des yeux noirs et brillants profondément enfoncés dans leurs orbites. Son regard fixe d'illumine me fit froid dans le dos.

Quelques années plus tard, je reçus chez moi à Marseille le secrétaire scientifique de l'Académie soviétique des sciences, Georges Scriabine. En sa qualité d'*apparatchik* de haut rang, il voyageait flanqué d'un « secrétaire », qui était visiblement un agent du KGB, et qui trimbalait partout une grosse serviette bourrée de boîtes de caviar et de poupées russes que son patron distribuait à ceux qu'il visitait. En se levant de table pour aller prendre le café, Scriabine passa devant ma bibliothèque et y prit un livre au hasard. C'était la traduction française de *Grandeur et chute de Lyssenko*, l'ouvrage célèbre dans lequel Jaurès Medvedev rapporte en détail les péripéties de ce drame à la fois sinistre et grotesque. Scriabine était un de ceux qui, à l'Académie des Sciences, avaient le plus adulé Lyssenko et qui, à l'époque de cette anecdote, avaient exilé Sakharov à Gorki. Sans mot dire, il replaça brusquement le livre sur son étagère, comme s'il lui avait brûlé la main.

Lyssenko a longtemps continué à susciter d'ardentes polémiques dans le microcosme intellectuel. Les philosophes marxistes, pour la plupart normaliens et disciples d'Althusser, avaient publié à la *Nouvelle critique* une série retentissante d'articles opposant, au nom de la lutte des classes et du matérialisme historique, la science prolétarienne à la science bourgeoise, et cette théorie était aussitôt devenue le cheval de bataille idéologique du Parti. L'Université nouvelle organisa, à Marseille, sur le thème « science et marxisme », un grand débat auquel je participai. La réunion était présidée par Laurent Casanova qui était alors le responsable des intellectuels au Bureau politique du PCF, et la pâle réplique du Jdanov soviétique. Un des orateurs était Jean Kanapa, un normalien membre du Comité central et étoile montante des théoriciens du Parti. Il ouvrit la séance par une apologie en langue de bois de la science soviétique et de ses découvertes agronomiques. Puis vint Jean Toussaint Desanti, lui aussi normalien et principal propagandiste, avec Francis Cohen et Raymond Guyot, de la théorie des deux sciences. Lorsque la discussion fut ouverte, je demandai la parole. Je dis que j'avais lu avec beaucoup d'attention le compte rendu de l'Académie de l'agriculture soviétique et que j'avais été profondément choqué par le dogmatisme des attaques de Lyssenko contre la génétique classique. En effet, ajoutai-je, j'étais de ceux pour qui le but du marxisme était d'assujettir

l'analyse historique à la démarche scientifique et à sa règle fondamentale suivant laquelle le seul critère de la connaissance objective réside dans la méthode expérimentale. De sorte que lui substituer des considérations purement métaphysiques sur le matérialisme historique me paraissait mettre la charrue avant les bœufs et revenir à la pire scolastique moyenâgeuse. Mon intervention tomba dans un silence glacial et ce fut la dernière fois que j'assistai à une réunion du Parti.

Il a fallu attendre encore la mort de Staline, le rapport Khrouchtchev et la tragédie de Budapest pour que les gros bataillons des intellectuels membres et sympathisants communistes commencent à désertir en masse. Quant à Laurent Casanova, Kanapa et Desanti, ils devaient bientôt être exclus pendant les purges des années soixante et passer à la trappe ubuesque par laquelle disparurent les uns après les autres tout ce qui restait d'intellectuels parmi les dirigeants du Parti. Peu avant la *perestroïka*, Althusser lui-même finit par confesser ses désillusions et son désarroi en disant : « La philosophie marxiste, fondée par Marx dans l'acte même de sa théorie de l'histoire, est en grande partie encore à constituer. » Peut-être cette tâche s'accomplira-t-elle enfin au cours du prochain siècle et viendra-t-elle ainsi combler l'immense vide idéologique ouvert par l'effondrement du communisme ? Peut-être aussi l'histoire reconnaîtra-t-elle dans le désastre épistémologique de l'affaire Lyssenko le premier coup mortel que l'idéologie marxiste-léniniste s'est elle-même porté et qui a précipité la fin de ce « colosse aux pieds d'argile » ?

(...)

À peine étais-je revenu de mon premier voyage en Israël que me parvint une lettre tout à fait inattendue. Elle venait d'André Lwoff que je connaissais à peine de vue pour l'avoir quelquefois croisé dans les couloirs de l'Institut Pasteur. En quelques lignes il me disait que, chargé par le CNRS d'examiner mon dossier, il s'y était intéressé et m'avait fait attribuer une bourse d'étude à l'étranger pour une durée d'un an à compter du premier janvier suivant. Comme on était déjà en novembre, le temps pressait et je pris aussitôt le train pour Paris afin d'en savoir davantage. En montant l'escalier étroit qui conduisait chez Lwoff, dans les combles de l'Institut Pasteur, j'étais extrêmement intimidé par ce qu'on

m'avait dit de lui et aussi anxieux que lorsqu'au collège des jésuites j'étais convoqué par le père supérieur. Tout au bout d'un long corridor encombré d'appareils et dans lequel flottait l'odeur pénétrante des laboratoires de bactériologie, une secrétaire m'introduisit auprès de Lwoff. Très raide et la tête droite, il était assis, les deux mains posées à plat sur un bureau soigneusement rangé. Il me toisa un instant en silence avant de me faire asseoir et je m'enhardis assez pour lever les yeux sur lui. Il portait la blouse blanche aux initiales de l'Institut Pasteur que les pastoriens arborent comme une robe sacerdotale. Ses yeux bleus, son teint coloré, son menton un peu fuyant, ses cheveux blonds et bouclés, coupés très courts, me firent penser au chanteur Charles Trenet et cette ressemblance incongrue acheva de me mettre à l'aise. Interrogé sur mes aspirations scientifiques, je répondis que j'étais fasciné par les découvertes de Winograsky et de Beijerinck sur le rôle des bactéries dans les milieux naturels. Lwoff m'encouragea à poursuivre dans cette voie. « Toutefois, ajouta-t-il, il est clair que vous avez encore beaucoup à apprendre et c'est pourquoi j'ai pensé que passer un an à l'étranger vous fera le plus grand bien. » Comme je lui demandais où il voulait que j'aille, il me répondit : « Le mieux serait évidemment aux États-Unis, mais à votre retour, vous ne manquerez pas de me réclamer les mêmes moyens que ceux dont on dispose là-bas, et je ne serais pas en mesure de vous les faire avoir dans votre petit labo de Marseille. Par contre, en Angleterre, vous aurez une chance de voir comment les Anglais, avec seulement quelques tubes à essai, parviennent à obtenir des prix Nobel. » Je lui demandai enfin ce qu'il me conseillait de faire pendant ce séjour. « Bien entendu, il est inutile de partir à l'étranger pour apprendre la microbiologie et la biochimie. Tout cela se trouve dans les livres et les revues scientifiques, et si vous ne saviez pas l'y trouver, c'est que je me serais trompé sur vous. Non ! Voyez simplement ce que font les Anglais, apprenez des techniques et, de retour chez vous, tâchez d'en tirer le meilleur profit. Je vous souhaite bon voyage et à l'année prochaine. » L'entretien était terminé.

Au moment de ma visite, Lwoff venait de faire une découverte dont, jugeant sans doute que j'étais trop novice pour en comprendre l'importance, il ne me parla pas. Pourtant, la découverte du prophage

eut aussitôt un grand retentissement. En effet, la démonstration qu'un virus, le phage tempéré, peut s'insérer dans le génome bactérien ouvrait de nouvelles perspectives, notamment quant à l'hypothèse suivant laquelle certains cancers sont dus à l'intégration d'un virus dans le génome humain. En ce qui concerne la lysogénie, il restait encore à expliquer pourquoi le prophage demeure latent et pourquoi les bactéries lysogènes sont immunisées contre une sur-infection par le phage. C'est ce qui n'allait pas tarder à être élucidé par Jacques Monod, Élie Wollman et François Jacob. Lors de mon entrevue avec Lwoff, je ne savais pas encore que les deux premiers travaillaient déjà dans son laboratoire. Quant à Jacob, il les rejoindrait l'année suivante.

Depuis, j'ai bien souvent revu André Lwoff dans son grenier de l'Institut Pasteur qui allait devenir aussi célèbre que le hangar où Pierre et Marie Curie ont découvert le radium. Pendant plusieurs années j'ai siégé au CNRS dans la même commission que lui et il a longtemps présidé le comité de direction de mon laboratoire. Mais, aujourd'hui encore, il m'intimide autant qu'au premier jour. Comme le dit François Jacob dans ses mémoires, il a, pour ceux qui trouvent grâce à ses yeux et dont j'ai eu la chance d'être, une extrême générosité de cœur et une grande indulgence, mais sans jamais se départir d'une attitude réservée et un peu hautaine, qui continue à me troubler chaque fois que je suis en sa présence. Même après tant d'années, je ne puis toujours pas m'empêcher de lui dire « Monsieur » sur le ton déférent d'un jeune interne des hôpitaux s'adressant à son patron. Je ne suis pas le seul parmi ses familiers à être intimidé par Lwoff et je ne connais guère que Monod et Jacob qui aient osé l'appeler par son prénom. Tous redoutent l'acuité de son jugement et ses remarques ironiques sur une idée qu'il estime fautive ou lorsque, en puriste de la langue, il relève une tournure fautive, un mot impropre ou un anglicisme abusif. J'ai conservé une lettre que je lui avais envoyée pour lui demander un rendez-vous et qu'il m'avait retournée en la corrigeant, y ajoutant simplement au bas de la page, dans le style laconique qu'il affectionne, les deux mots « À bientôt » suivis de sa signature. Quant à ceux, fussent-ils de puissants mandarins, qu'il n'aime

ou n'estime pas, il est parfois à leur égard d'une franchise acerbe et d'une intransigeance qui lui ont valu de n'entrer à l'Académie des sciences que tardivement, et seulement après que le prix Nobel lui en eut forcé la porte.

(...)

Je me suis souvent demandé si la fable Peter Pan, le petit garçon qui ne voulait pas grandir pour pouvoir s'amuser toujours, ne rejoint pas le mythe universel de l'angoisse humaine devant la mort, et si sa signification profonde n'est pas que seul l'enfant échappe à cette obsession parce que, plus encore que les jeux, sa véritable grâce d'état est de se sentir immortel. Sans doute aussi y a-t-il dans le subconscient du scientifique et plus généralement de tous ceux qui se consacrent à la recherche ou à la création artistique, un Peter Pan qui les pousse à prolonger indéfiniment dans le domaine de l'esprit leur jeunesse et l'illusion d'immortalité qu'elle comporte. Dans son discours de remerciements pour le prix Nobel, André Lwoff exprimait cette même idée en disant : « Si je suis ici aujourd'hui, c'est parce que je me suis amusé toute ma vie ; car, de toute évidence, la recherche scientifique participe de l'activité ludique. » Parmi les hommes, il en est cependant d'autres, tels Napoléon et Rastignac, qui ignorent ou refoulent le complexe de Peter Pan. Ceux-là sont les conquérants de l'argent et du pouvoir et, depuis toujours, hélas, les maîtres du monde.

(...)

Mon séjour en Angleterre, qui avait débuté par une tempête de neige, s'acheva dans un brouillard si épais qu'on n'y voyait pas à dix mètres. J'avais projeté de me rendre aux Pays-Bas en avion, mais je dus me résigner à prendre le train pour Harwich, puis un bateau pour Hook van Holand où je débarquai par un petit matin blême et glacial. Une demi-heure plus tard, j'arrivai enfin à la Mecque de la microbiologie, à Delft, où une cinquantaine d'années après que la lunette de Galilée eut ouvert à la science l'infiniment grand, Antoinie van Leeuwenhoek découvrit l'infiniment petit : des « animalcules » identifiés de nos jours comme plusieurs espèces d'infusoires et même de bactéries.

Kluyver m'accueillit chaleureusement et, comme on était en période de vacances universitaires, il en profita pour m'accorder

quotidiennement, pendant la semaine que dura ma visite, plusieurs heures d'entretien en tête-à-tête. Accrochée au mur de son bureau, il y avait une photographie de Beijerinck prise peu avant sa retraite. Vêtu d'un costume noir un peu frippé sur lequel contrastait la blancheur d'un col cassé, il se tenait à demi penché devant un microscope. Son visage carré et sévère, profondément creusé de rides amères, était tourné vers le photographe qui venait de le déranger dans son travail et, à travers des lunettes rondes à fine monture métallique, il jetait sur l'intrus un regard courroucé. D'après tous ceux qui l'ont connu, c'était là son air habituel. Atrabilaire, intransigeant et égotiste, il ne vivait que pour la science et il estimait qu'un véritable chercheur ne devait pas se marier. Un de ses biographes raconte qu'il avait, un jour, surpris un étudiant et une étudiante en train de s'embrasser et que sa crise de fureur avait alors « dépassé toute mesure raisonnable ». Il pourchassait les fumeurs aussi rageusement que le faisait Pasteur dont on dit qu'à l'École normale, il lui arrivait de passer une main par-dessus la porte des toilettes pour arracher une cigarette de la bouche d'un de ses collaborateurs.

À la différence de son illustre prédécesseur, Kluyver était d'un calme olympien et d'une exquise courtoisie. Il parlait avec la componction qui sied à un *Rector magnificus* de l'Université et s'adressait toujours à moi en faisant précéder mon nom d'un « Monsieur » cérémonieux. Sans doute parce que j'étais alors un des seuls jeunes chercheurs dans le monde à suivre isolément et en franc-tireur la voie tracée par l'école de Delft, il m'avait pris en sympathie et, entre deux discussions scientifiques, il faisait de nombreuses digressions sur les sujets les plus divers. Et il émaillait ses propos de profondes réflexions dont certaines ne manquaient pas d'humour. C'est ainsi qu'il me dit un jour : « Tous deux nous sommes des biologistes et nous avons la chance que, dans cette branche de la science, il y a encore beaucoup de questions auxquelles on peut répondre par oui ou non. S'il vous arrivait d'être sur un problème où il n'en serait pas ainsi et, surtout, s'il vous fallait recourir aux statistiques, alors croyez-moi, jeune homme, laissez tomber ce sujet et passez à un autre. »

(...)

En juillet 1955, je devins docteur ès sciences. À cette époque, la soutenance comportait une deuxième thèse, habituellement consacrée à une revue de littérature, et j'avais choisi pour sujet la dégradation microbienne des hydrocarbures. Ce n'était pas sans arrière pensée. En effet, depuis Söhngen, la liste des bactéries et des levures capables de se développer à partir du pétrole s'était allongée. Mais on ne savait à peu près rien des processus chimiques impliqués dans ce métabolisme et je me proposais d'étudier ce nouveau domaine de recherche. Peu de temps après, je reçus de Lwoff une lettre me disant que C. B. Niel faisait un séjour dans son laboratoire et désirait venir me voir pour me parler de mes publications sur les bactéries sulfato-réductrices. Quand il arriva à Marseille, en février 1956, il faisait -20°C et, sous un ciel sans nuage, le mistral soufflait en rafales furieuses. Cet hiver-là, tous les oliviers de Provence gelèrent, ce qui ne s'était pas vu depuis des siècles, et il fallut attendre plusieurs années avant qu'ils ne repoussent à partir de leurs souches. Van Niel était, avec Kluyver, le plus illustre représentant de l'école de Delft. Élève de Beijerinck, il avait émigré en Californie et était devenu professeur à l'Université de Stanford. C'est là qu'en 1931, il avait fait une découverte aussi importante pour les connaissances sur l'origine de la vie que celle de l'autotrophie par Beijerinck et Winogradsky. L'existence de micro-organismes photosynthétiques était connue depuis qu'à la fin du siècle précédent un naturaliste allemand, Engelmann, les avait découverts dans des eaux thermales sulfureuses. Mais on les avait longtemps confondu avec les algues uni-cellulaires. Van Niel démontra qu'il s'agissait de bactéries et qu'elles appartenaient à deux groupes, colorés l'un en vert et l'autre en rouge pourpre, suivant que dans leurs cellules prédomine la chlorophylle ou les pigments caroténoïdes qui lui sont fonctionnellement associés. D'autre part, il démontra que chez les bactéries, la photosynthèse comporte l'oxydation des sulfures ou de l'hydrogène sulfuré en sulfate et ne produit pas d'oxygène. Celui-ci provenant exclusivement de la photosynthèse végétale, l'atmosphère primitive de la planète n'en contenait pas, mais par contre, était vraisemblablement riche en hydrogène sulfuré. Il résulte de ces considérations que l'apparition sur la Terre des bactéries photosynthétiques est sans doute antérieure à celle des végétaux

chlorophylliens, lesquels ont eux-mêmes précédé les organismes aérobies, c'est-à-dire les animaux.

Pendant son séjour à Marseille, Van Niel brava le mistral et le froid polaire pour prélever dans la cour du CRSIM un peu de sol gelé et en isoler des bactéries sulfo-oxydantes auxquelles il voulait que je m'intéresse. Son érudition était prodigieuse. Au cours de nos entretiens, il lui arrivait souvent de me dire que quelqu'un avait publié quelque chose d'important sur le sujet que nous discutions. Avec une pointe de coquetterie, il se plaignait de sa mémoire vieillissante. D'un air accablé, il posait ses lunettes d'écaille sur la table et prenait à deux mains son épaisse chevelure grisonnante. Puis, au bout de quelques secondes : « J'ai trouvé, s'écriait-il. Il s'agit d'un tel et vous trouverez la référence dans telle revue, telle année, page tant. »

Après le départ de Van Niel, le thermomètre n'avait pas tardé à remonter. Depuis six mois, nous avions quitté le boulevard Paul Doumer pour le 50 de la rue Saint-Jacques. Et, d'autre part, mon équipe de recherche s'était rapidement agrandie. Au premier collaborateur scientifique que j'avais recruté, Francis Pichinoty, étaient bientôt venus se joindre Jeannette Cattaneo, Marie-Claire Pascal, Jean-Pierre Belaïch et Jean Le Gall. Ils étaient tous plus jeunes que moi d'une quinzaine d'années et faisaient leurs débuts en microbiologie. Avec eux, je publiais de nombreux articles sur les bactéries sulfato-réductrices dont nous avions établi qu'elles étaient capables de fixer l'azote, de réduire non seulement le soufre mais encore le nitrite, la choline et l'hydroxylamine, ou encore de dégrader l'acide aspartique par un processus présentant des particularités intéressantes.

Je m'intéressais de plus en plus à la microbiologie du pétrole et mes publications sur ce sujet débouchèrent bientôt sur une grande aventure. Elle débuta à l'Institut Pasteur où, le plus souvent possible, j'allais voir André Romain Prévôt et Marcel Raynaud, l'un à Garches, l'autre rue du Dr-Roux. Un jour, j'en profitai pour faire une visite à Maurice Lemoigne, qui dirigeait le laboratoire de fermentation et dont les travaux dans ce domaine étaient classiques. Il me dit : « C'est bien, mon petit, ce que vous faites en province, mais on ne vous voit pas assez souvent à Paris. » Puis, il ajouta : « Vous tombez bien. J'ai reçu récemment des industriels du pétrole.

Ils voulaient que je fasse pour eux des recherches sur la dégradation des hydrocarbures par les bactéries. Mais je leur ai conseillé d'aller plutôt vous voir à Marseille. » Je l'en remerciai et lui demandai de quels industriels il s'agissait. « Ce sont, me répondit-il, les gens qui fournissent du mazout à l'Institut Pasteur. Vous savez, ceux dont les camions-citernes portent les initiales BP. » Quelques années plus tard, j'ai raconté cette histoire qui me paraissait drôle au grand patron de la British Petroleum à Londres, mais il n'en apprécia pas l'humour et resta de marbre.

Peu après mon entretien avec Lemoigne, je reçus à Marseille la visite annoncée et c'est ainsi que, pour la première fois, je rencontrai Alfred Champagnat, le directeur des recherches de la SF-BP, autrement dit, de la très « franglaise » Société française British Petroleum. Il me proposa un contrat de travail sur l'utilisation des bactéries pour lutter contre la pollution de la mer et des rivières par les raffineries de pétrole. Ces études aboutirent à un rapport montrant que les bactéries dégradent rapidement la plus grande partie du pétrole, mais que la disparition complète de ses fractions les plus lourdes nécessiterait un très long séjour en bassin d'épuration. La religion écologiste n'était pas encore née et on en resta là.

Au terme des deux ans du contrat, c'était au printemps 1958, Champagnat m'invita à l'hôtel PLM de la gare Saint-Charles. Entre la poire et le fromage, Champagnat me dit : « Grâce à vous, j'ai découvert la microbiologie du pétrole. Cela me fascine, et il serait dommage que notre collaboration s'arrête là. Avez-vous une idée pour la poursuivre ? » Je lui répondis : « Pourquoi ne pas produire industriellement des protéines alimentaires ? » Il leva les sourcils d'un air étonné et je m'expliquai. Au cours de la discussion qui s'engagea, je commençai par dire que depuis longtemps, les levures de brasserie étaient utilisées en alimentation animale et que cette source de protéines avait fait la preuve de sa valeur nutritive et de son innocuité. L'expérience ainsi acquise avait conduit pendant les deux guerres mondiales à fabriquer en Allemagne plusieurs milliers de tonnes de levures cultivées sur mélasse, et à les employer comme *ersatz* de la viande pour l'armée et le population

civile. J'ajoutai que durant l'Occupation, j'avais moi-même consommé les petits pains de levure produits à l'Institut Pasteur par Maurice Lemoigne et que je n'en avais pas gardé un mauvais souvenir. Rien, donc, ne me paraissait s'opposer en principe à faire de même en cultivant des levures sur pétrole. C'est d'ailleurs ce qu'en Allemagne Just et Schnabel avaient entrepris. Ils avaient cultivé deux espèces de levures, *Candida lipolytica* et *C. tropicalis*, sur des hydrocarbures paraffiniques synthétisés chimiquement à partir d'hydrogène et de gaz carbonique. Mais, la guerre avait pris fin avant que ce procédé ait pu être appliqué à grande échelle et, la paix revenue, le coût trop élevé de la matière première l'avait fait abandonner. Sans que je le sache, en 1955, W. Hoerburger avait repris ces études à l'université de Cologne, en employant des fractions de pétrole au lieu de paraffines synthétiques. Mais il avait renoncé à cause de difficultés technologiques qu'il jugeait insurmontables.

De mon côté, j'avais effectué avec les mêmes espèces des essais préliminaires sur le pétrole et d'autres hydrocarbures paraffiniques purifiés, et mes résultats étaient tout à fait encourageants. La croissance était aussi rapide que sur glucose, avec un temps de division cellulaire de l'ordre de l'heure. D'autre part, et c'est le point qui me paraissait le plus important, le rendement pondéral était voisin de cent grammes de poids sec de cellules pour cent grammes de substrat consommé, c'est-à-dire le double de celui obtenu avec le glucose. Ce fait en apparence surprenant s'explique aisément. Dans les deux cas, une molécule de substrat sur deux est complètement utilisée pour fournir l'énergie de croissance cellulaire. Mais le sort de celle qui est assimilée diffère. Les trois constituants chimiques du glucose, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, s'y trouvent dans les mêmes proportions relatives que dans la matière cellulaire produite, d'où un rendement pondéral de cinquante pour cent. Par contre, les hydrocarbures du pétrole ne contiennent que des atomes de carbone, chacun associé à deux atomes d'hydrogène, et, au cours de l'assimilation, il vient s'y ajouter un atome d'oxygène, ce qui compense à peu près exactement la quantité de substrat consommé à des fins énergétiques. Plus précisément, en tenant compte des poids atomiques des éléments, quatorze grammes d'hydrocarbures assimilés plus seize d'oxygène donnent naissance à trente grammes de biomasse. De sorte que, si

une molécule de substrat sur deux est perdue, comme dans le cas du glucose, le poids de celle qui est assimilée double, et le rendement pondéral de la croissance est donc d'environ cent pour cent.

Champagnat paraissait de plus en plus étonné et intéressé. Il me demanda si et pourquoi on pouvait s'attendre à ce que les levures produites à partir du pétrole aient la même valeur alimentaire que celles cultivées sur mélasse. Je lui expliquai que, dans les deux cas, les protéines cellulaires sont synthétisées par les mêmes déterminants génétiques et sont donc globalement les mêmes. J'ajoutai que, d'après mes propres recherches, les levures dont je venais de parler utilisent exclusivement pour leur croissance certains constituants du pétrole, les hydrocarbures paraffiniques saturés, ou *n*-alcane, et que ceux-ci sont depuis longtemps employés en industrie alimentaire et en pharmacie. De plus, j'avais établi que la dégradation des paraffines par les levures s'effectue par les mêmes intermédiaires que le métabolisme des graisses chez les animaux.

J'en vins à des considérations, que je développai longuement, sur la technologie des fermentations industrielles. Traditionnellement, elles sont effectuées en « batch », c'est-à-dire en ensemençant le milieu de culture avec un inoculum obtenu séparément, et en laissant la fermentation se poursuivre d'elle-même jusqu'à son terme. Dans ces conditions, les micro-organismes se multiplient d'abord à taux de croissance maximum et la population augmente de façon logarithmique.

Je proposai à Champagnat de substituer à la méthode classique de fermentation celle de la croissance continue en « bactogène » ou en « chemostat » dont la théorie venait d'être formulée indépendamment par Jacques Monod et par Léo Szilard et Aaron Novick. Son principe consiste en une culture dont une partie est continuellement prélevée et remplacée par la même quantité de milieu neuf, de sorte que la population microbienne tend d'une part à augmenter en fonction du taux de croissance et de l'autre à diminuer en fonction du taux de dilution par le milieu neuf. Monod avait montré qu'en milieu non renouvelé, lorsque la concentration restante de l'un quelconque de ces derniers s'abaisse au-dessous d'une certaine limite, la croissance se ralentit progressivement et prend toutes les valeurs intermédiaires entre son taux maximum et zéro.

Sans entrer dans les détails, il résulte de cette équation que, si le taux de dilution est ajusté de façon à être très légèrement inférieur au taux maximum de croissance, le système est auto-régulé et la population microbienne demeure indéfiniment stable, à une densité cellulaire très proche de sa valeur finale en milieu non renouvelé. Jusqu'ici, ce nouveau mode de culture n'avait été expérimenté qu'au laboratoire, mais j'étais convaincu qu'il serait possible de le transposer à l'échelle industrielle.

L'étonnement de Champagnat avait fait place à de l'enthousiasme. Il voulait entreprendre d'emblée la production de levures pour la consommation humaine et résoudre ainsi le problème de la faim dans le monde. Je pensais, moi aussi, que c'était sans doute possible. Mais il me semblait plus prudent de procéder par étapes et, puisque les levures étaient déjà utilisées en alimentation animale, de commencer par elles.

Quand, au grand soulagement du restaurant, on se leva enfin de table, il était plus de cinq heures du soir. Dans les semaines qui suivirent, Champagnat fit partager son enthousiasme par la haute direction de sa firme. Celle-ci m'accorda un nouveau contrat pour poursuivre les recherches fondamentales sur le métabolisme des hydrocarbures et, dans ce but, j'obtins du CNRS deux nouveaux chercheurs, une chimiste, Marie Konovaltchikoff, et Edgard Azoulay, un pharmacien réfugié d'Algérie où la guerre venait de commencer. D'autre part, pour développer les aspects industriels du programme dont j'avais défini les grandes lignes, la SF-BP créa, dans sa raffinerie de Lavéra, près de Martigues, une équipe d'ingénieurs, d'abord dirigée par Charles Vernet puis, à partir de 1960, par Bernard Lainé. Ce dernier, un polytechnicien, avait été recruté deux ans plus tôt, à la sortie de l'école, pour travailler sur le catalyse chimique et les procédés de raffinage. Pour faire plaisir à sa femme, qui était du Midi et voulait y rester, il accepta, sans grande conviction, de prendre la tête du projet microbiologie, et, sitôt qu'il l'eut fait, il fit preuve d'une remarquable efficacité. Pour compléter les notions que je lui exposais lors de mes fréquentes visites à Lavéra, il envoya deux de ses collaborateurs, Vinh Ki et du Chaffaut, l'un vietnamien et l'autre marseillais de vieille souche, suivre à la faculté des sciences mon enseignement de biochimie et de physiologie

microbiennes. Plusieurs fois par semaine, ces agents de renseignement en mission spéciale venaient s'asseoir sur les bancs de l'amphithéâtre et prenaient séparément des notes qu'ils tapaient à la machine pendant la nuit pour les remettre le lendemain à leur jeune patron.

On avait décidé de mener de front les recherches technologiques dans les deux directions que j'avais explorées, c'est-à-dire d'utiliser comme substrat d'une part le pétrole et de l'autre les paraffines. Grâce à un procédé de filtration du pétrole sur tamis moléculaire, qui venait d'être mis au point par la BP, on disposait de paraffines extrêmement pures, ayant de dix à vingt-trois atomes de carbone. D'autre part, le gasoil contenait environ vingt pour cent de ces mêmes paraffines. À priori, chacune de ces matières premières avait des avantages et des inconvénients. Les paraffines étant complètement consommées par les levures, celles-ci pouvaient être utilisées telles quelles. Mais l'extraction préalable des paraffines à partir du pétrole était relativement coûteuse. En revanche, à cette époque, le baril de brut était à un dollar huit cents et le gasoil très bon marché, mais on pouvait s'attendre à ce qu'il soit difficile et onéreux de débarrasser les levures de toute trace de pétrole résiduel.

De 1958 à 1962, les deux procédés furent développés dans le plus grand secret, et la méthode de culture continue que j'avais préconisée donna vite d'excellents résultats. Champagnat m'avait proposé d'entreprendre des études en vue d'améliorer, à l'aide d'agents mutagènes, les performances de mes souches de levures, et d'en isoler d'autres à partir des milieux naturels. Mais je lui dis que cela me paraissait inutile. En effet, je lui expliquai que, du point de vue génétique, la stratégie à employer diffère suivant le but de la fermentation. Lorsqu'il s'agit d'obtenir un antibiotique ou tout autre substance produite en très faible quantité par le micro-organisme utilisé, la sélection de mutants obtenus artificiellement s'impose. Par contre, notre objectif était spécifiquement d'accroître la vitesse et le rendement de la croissance. Or on pouvait prévoir que, dans une culture continue poursuivie pendant des semaines et des mois, et donc pendant d'innombrables générations, il se produirait spontanément une infinie variété de mutations. On pouvait s'attendre aussi à ce que, par le jeu de la sélection naturelle, les mutants

ayant acquis la faculté de se développer plus vite et de mieux assimiler les hydrocarbures éliminent les autres organismes. À son tour, cette nouvelle population présenterait des mutations allant plus loin dans le même sens et ainsi de suite, jusqu'à ce que, par étapes successives, l'optimisation recherchée atteigne la limite du possible, c'est-à-dire celle imposée par le second principe de la thermodynamique. C'est pourquoi je pensais qu'il suffisait d'attendre. Les faits ne tardèrent pas à me donner raison. Au bout de quelques mois de culture continue, le rendement pondéral des souches de *Candida lipolytica* et de *C. tropicalis* atteignit sa valeur théorique, légèrement supérieure à cent grammes de cellules pour cent grammes d'hydrocarbures consommés. D'autre part, la vitesse maximale de division était passée de deux heures à moins d'une heure et demie, et la teneur des levures en protéines de quarante-cinq à soixante pour cent de poids sec. À cette époque, les manipulations génétiques n'existaient pas encore, mais je ne crois pas qu'elles auraient permis de faire mieux.

Le refroidissement et l'aération des cultures posaient d'importants problèmes technologiques. En ce qui concerne l'aération, on a classiquement recours au barbotage d'air comprimé et à un vigoureux brassage de la culture au moyen d'une hélice. Cependant, malgré toutes les précautions prises pour conserver le secret du projet, le bruit s'était répandu que la SF-BP s'apprêtait à cultiver des levures sur pétrole, et Lainé me dit un jour qu'un certain Lefrançois était venu lui proposer ses services. C'était le patron d'une petite entreprise qui construisait des fermenteurs d'un type nouveau, dit « *air-lift* ». Son principe consistait en un cylindre creux plongeant verticalement dans la culture et à l'extrémité inférieure duquel est injecté de l'air comprimé. Le milieu liquide ainsi entraîné vers le haut par les bulles d'air redescend autour du cylindre et circule dans le fermenteur avec une grande turbulence. Lefrançois avait installé plusieurs de ces appareils en Roumanie, pour la production de levure à partir de la mélasse et, d'après lui, les résultats étaient excellents. Je ne croyais pas beaucoup à ce système, mais on procéda néanmoins à quelques essais avec un petit modèle de laboratoire, et je dus me rendre à l'évidence. Les résultats étaient très supérieurs à ceux obtenus avec une agitation mécanique et c'est sur le principe

air-lift qu'on construisit à Lavéra un premier fermenteur pilote pour produire les quantités de levure nécessaires aux essais nutritionnels et toxicologiques. La SF-BP voulait les entreprendre elle-même. Mais, je fis remarquer qu'en cette matière, on ne pouvait être à la fois juge et partie, et ces études d'importance capitale furent confiées à des organisations spécialisées de compétence mondialement reconnue.

Personnellement, je pensais que, dans les fermenteurs de grande capacité fonctionnant en continu, il serait coûteux et très difficile, si ce n'est impossible, de maintenir longtemps des conditions axéniques, c'est-à-dire de cultiver les levures en l'absence de toute contamination accidentelle par des bactéries, et ce problème était une des mes principales préoccupations. On avait demandé à Lefrançois quelles précautions il avait prises à ce sujet dans ses installations de Roumanie et il avait paru très étonné par cette question. C'était un autodidacte, qui s'était lancé dans la construction de fermenteurs industriels de façon empirique, et il répondit qu'il n'avait jamais constaté de contamination bactérienne. On l'avait prié de dire comment il examinait les cultures, et il avait sorti de sa poche une loupe pliante dont le grossissement, manifestement inférieur à celui des lentilles de Loewenhoek, lui permettait à peine de voir les levures et pas du tout les bactéries. Je m'en amusai beaucoup, mais la suite ne tarda pas à me montrer que, comme Lefrançois, la fortune est aveugle et qu'elle sourit aux audacieux.

Dans le but de réduire autant que possible les risques de contamination bactérienne, j'avais résolu d'utiliser le fait que, contrairement aux bactéries, dont la plupart se développent mieux en milieu neutre ou faiblement alcalin, les levures préfèrent les milieux acides. Procédant par tâtonnements, on constata que dans une culture à pH 4,0 sans aucune précaution d'asepsie, le nombre de bactéries contaminantes ne représente qu'une fraction négligeable de la biomasse totale. Je fis procéder à une série de tests nutritionnels et bactériologiques qui démontrèrent de façon concluante que les espèces de bactéries capables de se développer dans ces conditions sont toujours les mêmes et qu'elles sont totalement dénuées de toxicité ou d'autres effets nocifs pour les animaux alimentés avec les levures ainsi produites. Les investissements et les frais de fonctionnement considérables qui auraient été nécessaires pour opérer à l'échelle

industrielle dans des conditions axéniques me parurent donc inutiles et je conseillai d'y renoncer.

Cette importante décision m'a valu une amusante controverse scientifique. Elle eut lieu quelques années plus tard, alors que la première usine fonctionnait déjà à Lavéra de façon pleinement satisfaisante et que la production de protéines à partir du pétrole suscitait un grand intérêt dans le monde entier. Je participai à un colloque dont la vedette était Boris Chain. Après le prix Nobel qu'il avait partagé avec Flemming et Florey pour la découverte de la pénicilline, Chain avait émigré d'Oxford à Rome où il dirigeait l'Institut italien de la santé et où il avait entrepris des études technologiques sur la production des antibiotiques. Avec l'autorité que lui conféraient ses travaux, il déclara publiquement qu'il était inconcevable pour un microbiologiste d'entreprendre une fermentation industrielle autrement qu'en culture pure. Je lui objectai que le vin ne se fait pas ainsi et que chacune des innombrables variétés de fromages fabriqués en France résulte de diverses associations entre certaines espèces de bactéries et de moisissures. Or, ajoutai-je, en Normandie, il n'arrive jamais qu'un camembert se transforme accidentellement en roquefort. Ce qui démontre qu'à condition d'opérer dans des conditions rigoureuses, une culture mixte peut rester stable indéfiniment. J'eus bientôt l'occasion de raconter cette anecdote à André Lwoff pendant que je lui faisais visiter l'usine de Lavéra. Coiffés de casques en matière plastique, nous avons grimpé par de raides escaliers métalliques jusqu'au sommet d'un des gigantesques fermenteurs. Lwoff contempla un moment en silence le violent bouillonnement de la culture brassée par le système *air-lift*. Puis il me dit en souriant : « Si Pasteur voyait ça ! » Je lui fis remarquer que tout se passait à ciel ouvert, sans aucune précaution d'asepsie et je lui rapportai ma discussion avec Chain. « M'auriez-vous demandé mon avis, je vous aurais dit la même chose que lui, me répliqua Lwoff. Mais vous avez eu raison de ne pas me consulter. »

Chroniques bucarestoises

Hier, le 28 octobre, nous avons dîné dans la cuisine après mon retour du service. Il faisait nuit. Il avait un peu neigé pendant le week-end, mais la pluie a tout fait fondre. Maintenant, il commence à faire très froid, le thermomètre est tombé sous -9°C . Le nez collé à la vitre, ma fille Anna m'a dit que ça sentait la neige. La semaine dernière, en faisant du bricolage, j'ai découvert sur le balcon un pied de basilic qui crevait de froid dans un vase ; après l'avoir transplanté, je l'ai mis dans la cuisine et ses feuilles commencent à tomber. Un autre dimanche, Dana a malencontreusement cassé le gros aquarium de quatre-vingts litres : une belle image julesvernienne de béance diluvienne ouverte dans notre existence pantouflarde.

Tandis que l'hiver, en avance, s'annonce particulièrement froid, des rumeurs circulent, selon lesquelles les réserves de combustible du pays seraient à zéro. Je m'explique. Les poussées de révolte des mineurs naissent toujours en été, quand tout le monde se fiche bien de l'hiver. Moins payés, ils ne travaillent plus, viennent faire un tour

à Bucarest et s'amuse un peu en ville. Le gouvernement se souvient de la question du chauffage à l'arrivée des premiers froids ; et tous les mois d'hiver sont remplis de cris d'alarme sur les réserves de charbon. Finalement, les salaires sont augmentés, les mineurs reprennent le travail et battent même des records. La bêtise revient alors à la normale : nous avons tous froid dans les HLM, mais au moins sommes-nous rassurés. Sur le charbon. Car le gaz n'a pas assez de pression, le pétrole roumain est fichu et nous n'avons pas d'argent pour en importer. Je reste ébahi devant cette rencontre caricaturale entre des cycles biologiques (l'été, on se fiche du froid de l'hiver) et notre mentalité balcanique. En bref, je suis prêt à parier que l'été prochain, les mineurs viendront refaire un tour en ville. Quoi qu'il en soit, le froid n'est pas une obsession. Seulement, je suis triste de ne pas pouvoir rester chez moi, assis à une table pour écrire : « On ne peut pas penser quand il fait froid » (citation d'un Bucarestois anonyme).

* *
*

Je transporte depuis longtemps avec moi ces notes, dans mon cartable, entre le bureau et chez moi. Mon bureau est dans un bâtiment ancien, construit à l'époque des rois roumains, mais dedans, tout y est neuf : meubles, tapis, moquette. Je suis au troisième étage dans une petite pièce où je reste enfermé presque toute la journée à lire des textes de merde. J'entends les clés dans les verrous, les portes s'ouvrir et se fermer, les murmures et les pas de mes collègues, la voix de mon chef. Le couloir, avec ses sons assourdis ou agressifs, me fait penser à un immense hôtel. Je vous écris maintenant, assis à mon bureau, luttant contre la petite panique qui me traverse d'être découvert et ridiculisé. C'est ma pauvre fronde et j'en suis fier.

Depuis plus d'un mois, il fait chez nous un drôle de temps gris, avec deux ou trois jours de soleil seulement. Cynique et mortelle, cette vie bucarestoise est reproduite par des gens aveuglés, abasourdis par la pauvreté et les fluctuations fatales des prix ; ils se réveillent

chaque matin comme des poissons sortis brutalement de leur monde apathique et translucide qu'ils nomment le monde, la vie, la réalité.

Les enveloppes et le papier blanc manquent et on dit que les albums et les œuvres de Ceaucescu sont vendus à prix d'or à de riches Américains qui collectionnent des amphores et de petits morceaux de statues romanes.

Tout le monde semble ici désabusé : un peuple fatigué qui n'a plus envie de rien et qui œuvre contre lui. « Se lever très tôt pour arriver loin », dit un proverbe populaire. Qui aurait pu deviner le sens nuisible de cette tradition orale qui donnerait une pareille vision morcelée de la vie ? Ni détachement, ni sérénité : un peuple soupçonneux jusqu'à la vilénie qui ne s'agite que pour acheter des nouveaux trucs à manger ou pour mieux se débrouiller que son voisin. Des intellectuels qui se transforment en hommes d'affaire, des gens qui se croient encore beaux.

Pas envie de travailler. Même plus de lire. Il ne me reste plus que l'énergie de me venger contre ce monde de vieux cons caché derrière mon armure de dandy — dans ce pays, les vieux sont plus agressifs que les jeunes. Au milieu d'une population privée de ces références importées, je combine jusqu'à l'absurdité l'élégance vestimentaire.

* *
*

Nous sommes le 1^{er} décembre, c'est-à-dire le jour de la fête nationale de mon pays. Tout cela me fait un drôle d'effet : à l'occasion de ces festivités religio-politico-nationalistes, les villes sont pleines de militaires et de fanfares ; les soldats défilent avec leur air à la con — ce théâtre nous attire chaque fois comme une référence à l'enfance, à la punition, aux servitudes, à l'imbécillité secrétée par les institutions et leur faste bureaucratique ; à la radio passent des tangos, Nat King Cole et Adriano Celentano, et je pense que les vieux cons de mon quartier ont eu l'intuition du bonheur en pyjama et mauvaise *tzoulka*.

Mon four ne marche plus — c'est un dispositif italien que l'on ne trouve plus en vente aujourd'hui en Roumanie ; même chose pour une pièce de la machine à laver qui a fondu.

Voilà quelques jours, deux tziganes et un Roumain ont kidnappé le fils d'un homme d'affaire, la rançon demandée était de 300 000 lei — le premier enlèvement à ma connaissance dans ce pays. Nous avons pu voir l'épouse éplorée, les cheveux teints en blond, le visage couvert de maquillage et vêtue comme un perroquet. (Tous ces nouveaux patrons vivent dans des HLM au milieu de meubles d'imitation : misérable distinction d'un kitsch souverain.) Tout cela se passait aux infos roumaines — moment où il vaut mieux couper le son et brancher de la musique.

(Ne pas oublier de vous transmettre mes félicitations pour la grande victoire de Guy Forget et Henri Leconte, ce jour, contre les Américains. Le saladier Davis est vraiment grand : six kilos d'argent.)

Le marché libre et la réforme économique avancent par les trous de nos poches ; les gens se regardent soupçonneusement par dessous leurs sourcils ; un voyage aller-retour Bucarest-Washington coûte un million de lei tandis que le salaire moyen ne dépasse pas les sept ou huit mille lei ; des antiques Opel, BMW, et Audi sillonnent les autoroutes roumaines et y sèment des accidents mortels.

Anna se régale en mâchant du chewing-gum turc acheté au bazar du coin, de petites cabines sordides qui sentent le pipi et étalent le mirage occidental en étiquettes colorées : le Beau, le Bon, le Comme-il-faut, *Die erste Qualität*. Le plus curieux dans ce mélange entre jeans turcs et concerts dansants organisés par des tziganes est sans doute le mariage entre une économie sauvage et le retour violent d'un ruralisme sournois qui s'insinue jusque dans les grandes villes. [Anna vient de s'approcher de moi pour me montrer la trace évidente laissée par celui qui a mordu son stylo (*sic*) ; tout cela me fait penser à l'« avion humide » d'un bon poète surréaliste roumain (si je me souviens bien), et à l'une de mes meilleures poésies, écrite dans les années soixante-dix, que j'avais appelée l'« avion de gomme »,

mais aussi à quelque chose de pas très précis, qui me trouble depuis quelques années : « La bataille contre un muet » ; bon, j'arrête les digressions.] Et maintenant, à la télé, un sourire du Président (le nôtre), qui porte le sobriquet de Kermit parce qu'il sourit sans cesse et inutilement. Et maintenant, ce film roumain des années soixante, vu et revu (il commence par un plan sur un fou, vêtu d'une robe de chambre, qui porte une poule blanche sur sa tête chauve). On vieillit lentement mais sûrement, ici, entre ce froid de loup et la cohue du métro. [Dana parle avec les enfants dans le living-room. « Tiens, il me faut de nouvelles lunettes, dit-elle. »]

* *
*

Une semaine que je n'arrive pas à poursuivre ces notes ; le soir, je rentre vers six heures et il fait déjà nuit ; le matin, je me réveille un peu avant sept heures mais il fait si froid dans notre chambre que ma main se révolte contre le devoir de poursuivre ma rédaction. Nous sommes le 11 décembre, une belle soirée, dehors tout est gelé, il a neigé : — 10°C. J'ai accueilli cette neige comme un miracle d'embellissement — pardonnez-moi, mais j'ai alors pensé à la bonification magique du réel décrite par Barthes dans des réclames pour les produits laitiers. Je vous écris maintenant dans la cuisine, auprès du four, là où il fait chaud. (Triste portrait d'un intellectuel qui n'est plus un jeune homme.)

Une presse parodique indépendante a fleuri avec des titres comme *Non, Le Con roumain, The Faim, Le Sexe international, L'Esbrouffe roumaine*, etc. J'ose avancer l'hypothèse selon laquelle ce type d'ironie élevée contre le malaise ambiant est du même esprit que celui qui a fait naître toutes les blagues contre Ceaucescu, et dont je crois pouvoir retrouver les racines dans notre balcanisme : paresse, finesse d'esprit, mélancolie et sérénité dans l'amertume — monade passe-partout d'une misère réelle, dé-réalisée dans les arabesques inattendues de la spiritualité autochtone construite aux portes de l'Orient. Le discours servi à l'Occident par les voyageurs roumains

(officiels ou non) n'est toujours que le même baratin, pleurnichard et auto-destructeur, lié en particulier aux mécanismes discrets de la honte — parfois, dans la rue, les pieds dans la boue et au milieu de la cohue, je ressens cette honte qui me rend misanthrope, xénophobe ou pire encore. Pendant l'automne, les enfants du quartier se sont transformés en pyromanes, mettant le feu aux cartons d'emballage, aux livres, à des morceaux de bois, aux poubelles — ils brûlent n'importe quoi ; on dirait du Brueghel ou du Giandomenico Tiepolo. J'aime voir ces gosses miséreux se venger contre les choses immobiles qui ont assisté à leur naissance. (Je suis obligé de me lever pour fermer la porte au son *heavy metal* de merde que mon fils Damien aime à la folie.)

Ma fatigue ne me permet que de lire à grand peine l'excellent 1789. *Les Emblèmes de la raison*, de Starobinski. Un fantasma me survole : je sens très bien que l'époque me confisque, ici, chez moi, mon existence entièrement intellectuelle — mais peut-être ne sont-ce que les premiers émissaires de la vieillesse qui marquent mon visage fatigué dans le miroir — peut-être plus simplement une perte nouvelle de patience et de compréhension pour le grossier charivari qui m'entoure dans cette ville.

Les jeunes de mon quartier s'affolent en bandes à cause du vent extrêmement sec et froid qui souffle en ce moment. À côté de celui-ci, votre mistral est un petit enfant sage — ils l'appellent « le cancer » (humour d'origine tzigane). La belle féminité roumaine se protège du froid sous d'épais et vilains vêtements.

* *
*

Aujourd'hui, 8 décembre, un nouveau dimanche, aussi insignifiant que les précédents. Cette fois-ci, c'est le jour du référendum pour la Constitution : je bricole à la maison, par-ci, par-là ; nous ne sortons pas, Dana a peur des représailles contre ceux qui n'ont pas voté ; moi, je m'en fiche — j'en ai marre de tout ce cirque ; mes gamins fredonnent le refrain de Dallas qu'ils connaissent par cœur.

Impression de camp nazi, ce matin, dans la station de métro « Les Héros », au milieu des cohortes de gens hypnotisés par la torpeur de leur vie pénible. Ils avançaient sur une valse javanaise qui se répandait mollement dans le sous-sol marbré. Le socialisme a donné à tous l'habitude de travailler ensemble pendant des années, côte à côte, sans se connaître ni s'aimer, mais jouant l'alliance collectiviste — vus depuis ma nouveauté, mes collègues de ligne de métro et tramway semblent baigner dans la promiscuité d'un hammam, ou plutôt d'une vespasienne.

Gardez bien ces pages mes amis, vous les appellerez un jour les dernières pages écrites par Adrian avant la Troisième Guerre mondiale — je voudrais me tromper mais ça sent la guerre : la grande Europe centrale éclatée, Gorby déchu, l'hystérie des petites nations et la nostalgie vorace des grandes...

* *
*

Après un trimestre d'abandon complet, je me remets à ces notes. J'ai improvisé, dans la chambre à coucher, auprès du lit, une table pour me commettre doucement dans cet agréable labeur d'écriture. Je suis là maintenant, entouré de dictionnaires : un nouveau petit Larousse, mon vieux Robert des années soixante-dix, un Webster Dictionary et quelques autres encore dont une grammaire française. Pour compléter cette belle image, sachez que ce 17 mars, il fait encore très froid — la neige a recommencé à tomber. Dana est endormie, la couverture sur le visage.

Ma méfiance naturelle pour les habitants de la friche littéraire roumaine s'est trouvée renforcée par l'entretien télévisé d'un vénérable théoricien de l'art (âgé d'au moins quatre-vingts ans), qui raconta avec force précautions et circonvolutions de politesses comment un article lui fut refusé par une revue bucarestoise de littérature et d'idées : après trois semaines de tentative, il réussit enfin à prendre contact avec le directeur qui lui avoua avoir perdu le manuscrit. Notre vénérable théoricien proposa alors l'article à une autre revue (nationaliste et particulièrement controversée), qui le publia tout de

suite. Anecdote dérisoire, certes, mais illustrant la quotidienne dérive d'un système d'édition de littérature, philosophie, sciences humaines, etc., en pleine panique. Les revues de qualité tombent lentement ou violemment sous les coups de publications légères versant dans la démagogie populiste. Seuls les écrivains qui ont accepté d'écrire des histoires de sexe et d'aventure ou des essais politiques bidons ne sont pas au chômage. Le système est si fugace et changeant que je n'hésiterai pas à l'accuser d'opportunisme : à l'instar de cet écrivain qui s'est transformé en libraire-éditeur-diffuseur, de cet universitaire devenu chef de parti, de n'importe quel chercheur qui s'éternise à Paris, Londres, La Haye ou New York dans de quelconques études doctorales.

* *
*

La relecture d'un dossier de presse sur notre « révolution » me renvoie à ce style roumain pleurnichard qui me fait ressentir dégoût et honte pour cette mentalité qui se complet dans la reconstruction, aux yeux des Occidentaux, de notre épouvantable réalité. Encore aujourd'hui, pour la majorité des Roumains qui s'obstinent à présenter leur « roumanité », unique et extraordinaire, avant tout et en dépit de tout, cette attitude n'est qu'une aveugle mendicité. Nos parlementaires véreux, nos journalistes cupides, tous nos odieux leaders de n'importe quoi passent pour des honnêtes gens quand ils vantent sans honte notre latinité originale — en vérité turco-byzantino-russe. Ultime pirouette issue de ce réalisme idéaliste : nous, Roumains, êtres uniques, ne pouvons produire qu'une crise inédite. Foutaise à la mode des transmissions en direct du 22 déc. 1989.

* *
*

Cette année, pas de vacances d'été, manquées pour cause de mauvaise planification. Toutefois, Dana et les enfants, que je rejoins pour les week-ends, passent une vingtaine de jours à la montagne. Je reste en poste à Bucarest où, pendant le mois de juillet, la température atteint presque chaque jour 40°C. Les bras et les coudes collent sur

les bords des tables. Tout est gluant. Un collègue de travail nous offre une blague sur le thème de l'impossibilité de tout acte sexuel par cette chaleur, pour raison de dérapage des corps transpirants — ô journées d'obédience simulée et de chemises quotidiennement changées !

* *
*

Le second dimanche d'août, vers deux heures de l'après-midi, l'heure de la sieste alors que le soleil est mortel et que les poubelles, sorties par les éboueurs, dégagent une puanteur insupportable. Au milieu de cette immobilité générale, j'ai entendu un bruit sec : jeté d'un étage supérieur, un livre épais était tombé sur le trottoir. Dans le quartier, vide sous le soleil brûlant, tout le monde se fichait de cette apparition violente, tombée du ciel — ou presque. Je suis resté quelque temps abasourdi, seul sur mon balcon, à prolonger la scène. Quelques jours plus tard, je la racontai à une collègue qui me dit que chez elle, on jetait couramment de la soupe, des choux ou des légumes pourris par la fenêtre. « Que veux-tu qu'on y fasse ? », dit-elle en conclusion. Mais moi, c'était un livre ! Et je garderai longtemps l'image du livre tombant, comme si la journée entière, la réalité, la chaleur et la bêtise de cet été infernal à Bucarest avait pondu un œuf devant mon bloc.

Ainsi que le barbu Marx l'a dit, le philosophe est apparu au moment où la collectivité eut, grâce à un certain niveau de développement économique, le temps de penser, etc. Ce qui n'est pas mon cas, puisque je ne me sens pas identifié à cette somme d'individus condamnés à se supporter, que je n'aime pas, et n'ai pas non plus acquis un certain niveau de prospérité à cause de l'augmentation incessante des prix. Le temps passe ici très vite, comme une fourmilière nous accomplissons des tâches pour nous en débarrasser. Et je me retrouve souvent devant un miroir, tout seul, à regarder cet être vieilli aux contours impurs qui laisse tomber son regard sur ses pieds.

L'automne est bientôt fini et je n'ai rien écrit depuis la fin de l'été — nous sommes le 16 novembre. Je suis ramené à la rédaction de ces notes à la suite d'une nouvelle tournure prise par la presse roumaine : une sorte de phénomène de paupérisme contemplatif qui me transporte littéralement dans des crises cyniques.

L'une des histoires qui fit le plus de bruit dans l'opinion publique roumaine fut celle d'un homme retrouvé écrasé sous l'éboulement d'une petite grotte dans laquelle il s'était réfugié pour copuler avec une poule. L'enquête du parquet a constaté que l'acte de zoophilie fut interrompu par l'effondrement de la voûte de la grotte. Quelques jours plus tard, l'équivalent de votre *Canard enchaîné* publia en première page :

« Incroyable ! Horrifiées par l'affreux viol d'une collègue, les poules de Crevedia [grand combinat d'élevage agricole] ont bloqué la route nationale 16. Les forces de l'ordre les ont dispersées en les frappant brutalement aux couverts. » [Les cuisses de poulet sont appelées « couverts » depuis l'époque de Ceaurescu où, bien que difficiles à trouver sur le marché, on en mangeait beaucoup. Si petites et si maigres qu'elles étaient refusées à l'exportation, ces cuisses furent surnommées « couverts » ; et nous mangions donc tous des couverts.]

J'ai choisi de traduire ici, parmi quelques autres chef-d'œuvres, l'intégralité d'un article dont la dimension pédagogique qu'il représente pour l'Occidental qui viendrait faire chez nous du tourisme n'est pas sans importance. Extrait de *L'Événement du jour*, le journal le plus pénible et le plus lu de Roumanie, voici un article daté du 4 novembre 1992 :

« *Parce qu'il ne connaissait pas le roumain,*
Un Français a failli être lynché

Les locataires ont cru qu'il voulait violer la fillette dans l'ascenseur

« Hier, vers trois heures du matin, dans un immeuble de la voie des Aïeux, a eu lieu un incident dont les protagonistes furent une fillette de douze ans et M. Olivier Jacquet, cinéaste de nationalité française. Pendant qu'il essayait de retrouver une société française dont le siège se trouvait dans l'immeuble, Monsieur Jacquet appela l'ascenseur au rez-de-chaussée. La fillette qui arrivait monta avec lui pour rejoindre l'appartement familial.

Sans dire un mot, tous deux prirent ensemble l'ascenseur, qui s'arrêta entre deux étages à la suite d'une panne de courant. "Que se passe-t-il ? Pourquoi l'ascenseur s'est-il arrêté ?", demanda la fillette inquiète. Ne comprenant rien à ce qu'elle disait, le Français haussa les épaules. La séquence se répéta deux ou trois fois. Effrayée par le silence de M. Jacquet, la fillette commença à crier comme quelqu'un qu'on égorge [littéralement : crier comme si un serpent l'avait gobée ; expression populaire qui n'est pas sans rappeler le boa en forme de chapeau qui, dans le Petit Prince, avait avalé un éléphant.] Alertés par les cris, quelques voisins ont réussi à réparer la panne et ainsi libérer les captifs.

Dans la confusion générée par les pleurs de la fillette et le silence du Français, les citoyens furent sur le point de lyncher M. Jacquet. Appelés au téléphone, les policiers de la section n° 8 arrivèrent aussitôt.

Voici la déclaration de M. le lieutenant-colonel Dragomir [ancien nom de noble moldave] : "J'ai demandé à la fillette si le Français avait tenté de la violer. Elle a dit que non. Je lui ai demandé si, au moins, il avait essayé de la toucher, et la fillette a de nouveau répondu non. Elle a en outre expliqué qu'effrayée par le silence du Français qui ne lui répondait pas, elle a cru qu'il était fou et voulait la violer." Par l'intermédiaire d'un traducteur, le Français a confirmé la déposition de la fillette en regrettant la situation pénible dans laquelle il s'était trouvé du simple fait qu'il ne connaissait pas un mot de roumain et la fillette pas un mot de français. Jusque hier, vingt-deux heures, aucune plainte, d'aucune partie impliquée dans l'incident, n'a été déposée. »

J'en conclurai qu'à Bucarest, les muets (et en général tous les étrangers qui ne parlent pas notre langue) sont des violeurs présomptifs ; que la Roumanie est, comme la Thaïlande, un paradis pédophile où les petites filles se promènent seules jusque très tard dans la nuit ; enfin, qu'une nouvelle perversion sexuelle hante l'imaginaire roumain : le silence.

(à suivre)

Adrian Balcàn

AGONE

Revue Trimestrielle

numéro 8/9, 1992

Le Vivant

Sommaire

L'évolution du vivant — Débat. *Bernard Brun, Jean-François Gérard
Pierre-Henri Gouyon, Jacques Ninio
Pierre-Yves Quenette, Philippe Vernier*

La théorie biologique. *Bernard Brun*

Vers une évolution guidée par les contraintes. *P.-Y. Quenette & J.-F. Gérard*

Petite généalogie de l'espèce. *Laurence Foucaut*

Le passage du vivant au non-vivant, à l'origine. *M. Christine Maurel*

Chronique d'une vie artificielle. *Éric Bonabeau & Guy Théraulaz*

Syndrome de Gepetto et machine de Turing. *Nicolas Reeves*

L'architecture du goût. *Manuel Corrada*

Idée de vie et modèles biologiques dans la pensée de Nietzsche. *André Simha*

La crise bioéthique du droit. *Olivier Salazar-Ferrer*

Contes à rebours. *Jehan Pyrr*

Sur quelques véhicules de cette inspiration poétique. *Bruno Sibona*

Ces demeures sacrées — Mémoires. *Jacques Charles Senez*

Marginalia

Chroniques bucarestoises. *Adrian Balcàn*