
HISTOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES : DES RAPPORTS ENCHEVÊTRÉS

CÉDRIC GRIMOULT

ABSTRACT. The relationship between sciences and techniques can be analyzed from a historical point of view and reexamined by taking into account recent problems. This research field has been recently renovated due to the probabilistic and selectionist model of the synergic theory in human sciences, which points to the historical role of contingency and multipolar pressures that drive events dynamics in all levels of integration in human societies, from the individual agent to world-level interactions. From this approach it is examined the reciprocal interlaced relations, favorable or adverse, between sciences and techniques. It is concluded that scientific ethics, by the same principles, must recognize in urgency and differently, what is needed to prevent certain technological courses, as seen through the biological applications now unfolding.

KEY WORDS. Darwinism, Bioethics, Lamarckism, memes, Probabilism, synergic theory, natural selection.

L'histoire des sciences et des techniques constitue aujourd'hui l'un des champs les plus dynamiques de la connaissance historique. Du fait de l'implication croissante de la technologie dans l'économie industrielle et post-industrielle, ainsi que dans la vie quotidienne, les historiens attachent désormais toute leur attention à des phénomènes jadis estimés secondaires, parce que considérés trop détachés de l'histoire politique. Pourtant, les sciences sont directement impliquées dans la vision du monde caractéristique d'une société, d'un groupe ou d'une civilisation, et se trouvent donc reliées, pour le meilleur et pour le pire aux idéologies de l'époque. Quoi qu'il en soit, les progrès réalisés dans le domaine de l'histoire des sciences et des techniques invite aujourd'hui à repenser les liens entre ces disciplines, ainsi que ceux qui les unissent aux autres thèmes de la connaissance du passé.

GEODE, CNRS-Paris X-Nanterre./ grimoultc@voila.fr

1. VERS UNE THÉORIE SYNERGIQUE DES SCIENCES HUMAINES

Afin de renouveler la question des rapports entre sciences et techniques, il faut adopter un guide méthodologique sûr. Il s'agit donc de passer d'abord en revue les grandes conceptions de l'historiographie, avant de présenter un modèle nouveau permettant de mieux cerner ces questions.

DES ANNALES À UNE VISION MULTIPOLAIRE

En France, on doit à l'école des *Annales* d'avoir ouvert de nombreux champs d'études qui intéressaient encore assez peu les historiens : l'activité économique, dès les années 1950, et les mentalités qui, à partir de 1970, mènent progressivement vers l'histoire culturelle, à laquelle on rattache traditionnellement l'histoire des sciences et des techniques. Mais faute de travaux précis, ce domaine ne peut encore trouver de place cohérente dans le domaine de l'histoire. Certes, Fernand Braudel reconnaît l'importance, essentiellement au plan économique, des outils et des savoir-faire, qu'il place à la base de son livre *Civilisation matérielle, économie et capitalisme du XV^e au XVIII^e siècle* (1967), mais les techniques ne sont pas étudiées pour elles-mêmes, ni liées aux sciences. Elles sont encore rejetées à l'autre extrémité de la pyramide des phénomènes sociaux, parmi les thèmes de l'histoire culturelle. Ainsi, l'école des *Annales* explore la maison historique « de la cave au grenier » (Michel Vovelle), en partant de l'économique pour aboutir au culturel (voir figure 1). Cela se visualise aussi bien au niveau synchronique, dans les plans des thèses de doctorat soutenues à cette époque qu'en diachronie, dans la mesure où les chercheurs se sont d'abord surtout intéressés à la dynamique économique, puis aux phénomènes sociaux, avant d'explorer en détail le champ des mentalités et de la culture.

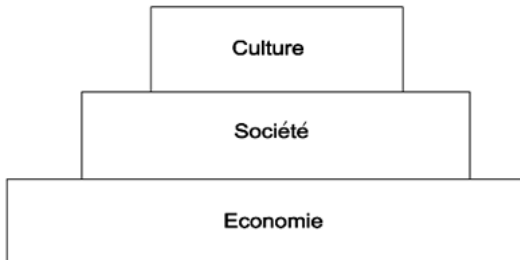


FIGURE 1

Les trois étages de la conception schématique issue de l'école des *Annales*.

La *Grammaire des civilisations* de Braudel témoigne ainsi d'une compréhension difficile des rapports entre sciences et techniques. Par exemple, c'est seulement avec le projet de découvrir les origines de l'industrialisation en Europe que Braudel étudie « la pensée scientifique avant le XIX^e siècle », expression révélatrice, puisqu'il s'agit selon lui d'une « pré-science, comme on peut parler avant la Révolution industrielle, d'une préindustrie ¹ ». Pour l'historien, l'économie demeure à l'origine des mutations technologiques. Ainsi, à la question de savoir pourquoi la science — réduite, pour l'essentiel, à la physique — devient véritablement moderne entre 1780 et 1820, Braudel répond :

Une explication matérialiste est évidente [...]. L'industrialisation [...] serait ainsi l'élément décisif, le *moteur*. [...] La Chine a possédé très tôt, beaucoup plus tôt que l'Occident, une science, une ébauche de science, assez fine et poussée. Mais pour franchir l'étape décisive, elle n'a pas connu cet élan économique qui a soulevé l'Europe, cette tension "capitaliste" qui, en fin de compte ou à mi-course, lui a permis de franchir l'obstacle et dont longtemps à l'avance l'incitation s'est fait sentir ².

Cette présentation nous semble aujourd'hui un peu rapide, d'autant que l'historien passe très vite sur cet essor économique préalable du XVIII^e siècle, qu'il dit lié à la croissance démographique et aux méthodes scientifiques transformant l'agriculture. Cela ne revient-il pas, en effet, à placer les sciences à l'origine, plutôt qu'à l'issue de ce mouvement ? Au contraire, pour Braudel, le primat reste économique : « Tout ne peut changer et ne changera qu'avec les innovations techniques. Cependant, à l'avance, acceptons que ces innovations ne puissent tout décider, à elles seules ³ ». Braudel défend donc aussi l'antériorité de la technique sur la science : « Sollicitée à son tour par la technique, la science se présente non moins naturellement au rendez-vous ⁴ ».

Depuis les années 1980, le problème s'est, en quelque sorte inversé. L'histoire des sciences et l'histoire des techniques apparaissent aujourd'hui comme étant deux domaines en développement, en voie d'institutionnalisation, vecteurs de travaux divers et de qualité, mais très nettement distincts. Dans sa présentation de l'histoire contemporaine, Gérard Noiriel sépare ainsi clairement l'histoire des techniques de l'histoire des sciences, non seulement par commodité de lecture, mais aussi parce que ces deux domaines n'entretiennent guère de relations suivies. De plus, les deux domaines restent généralement séparés des autres branches de la discipline historique. Cette situation prend place dans le contexte de l'émiettement actuel de l'histoire contemporaine, où tous les domaines se rejoignent (voir figure 2), mais où les chercheurs se complaisent dans une indépendance spécialiste. Les travaux précis se multiplient, mais les historiens d'aujourd'hui ont tendance à s'isoler et à considérer

que les recherches de leurs collègues leur sont inaccessibles. Cela s'avère tout particulièrement dans le domaine des sciences et des techniques, longtemps abandonnés aux ingénieurs en retraite ou aux philosophes. Une telle attitude contribue cependant à renforcer les pôles existants (renouveau de l'histoire politique, domination partielle de l'histoire économique, sociale ou religieuse), au détriment des nouvelles conquêtes qui attirent un nouveau public. Les rares enseignements consacrés à l'histoire des sciences captent ainsi de nombreux étudiants dotés d'un bagage parfois non négligeable en sciences expérimentales, ce qui contribue à ouvrir la discipline et à accroître son rôle social.

Il faut dire aussi que les historiens du politique ou de l'économique ont profité du fait que les épistémologues — scientifiques ou philosophes — voulaient se réserver le domaine de l'histoire des techniques, et surtout de l'histoire des sciences. Pour cela, à la suite de Gaston Bachelard, Georges Canguilhem et ses disciples ont insisté sur tout ce qui différenciait leur conception de l'histoire des sciences avec les méthodes de l'histoire traditionnelle :

Bachelard a bien le sentiment qu'il risque ici de heurter la conscience de quelques historiens des sciences plus attentifs peut-être à la déontologie usuelle de l'historien (ne pas juger !) qu'à la spécificité de l'objet auquel ils s'appliquent. C'est pourquoi il insiste sur le fait que "l'histoire des sciences ne saurait être une histoire empirique" et que des valeurs rationnelles doivent ordonner l'histoire de la science puisqu'elles polarisent l'activité scientifique elle-même ⁶.

Mais les historiens des sciences ne partagent plus majoritairement ce point de vue, même lorsqu'ils ont reçu d'abord une formation philosophique ⁷.

Cette rapide introduction historiographique vise surtout à montrer que la réflexion est active en histoire des sciences et des techniques et qu'elle correspond à des besoins impérieux, liés à l'évolution de la discipline et de la société. Les enjeux scientifiques et technologiques contemporains, liés par exemple aux crises sanitaires de l'alimentation, aux risques du programme nucléaire dans la préservation de l'environnement, aux coûts de l'ingénierie génétique dans le domaine médical, rendent nécessaires des études fiables et accessibles au plus grand nombre concernant le développement historique de ces questions. Il ne s'agit pas de rendre l'histoire dépendante d'objectifs utilitaires, mais de ne pas manquer une occasion d'enrichissement, liée à une demande et à une offre de services tout à fait considérables.

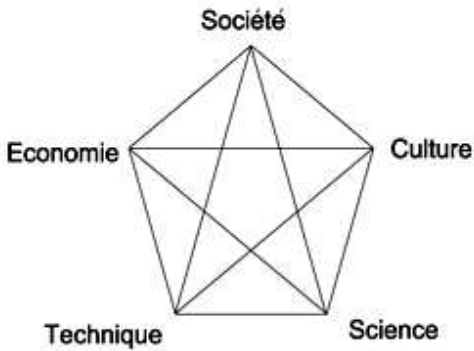


FIGURE 2

Les rapports multipolaires entre différentes composantes de l'histoire contemporaine.

SCIENCES ET TECHNIQUES : DES RAPPORTS ESSENTIELS

Classiquement, la technique est considérée comme ayant un aspect plus concret et moins général que la science, puisque son but n'est pas de découvrir les lois de la nature, mais de fournir des applications pratiques. Dans tous les domaines, les techniques ont pourtant accompagné l'essor des sciences, aussi bien en amont qu'en aval de la recherche proprement dite.

Ainsi, s'il semble évident que les techniques correspondent souvent à des retombées des découvertes scientifiques, cela est dû à une organisation industrielle surtout caractéristique des sociétés occidentales depuis la fin du XVIII^e siècle. Mais les techniques jouent aussi un rôle essentiel dans le processus scientifique lui-même. Cela apparaît très clairement lorsque les découvertes sont liées à un appareillage complexe, comme c'est devenu le cas dans les sciences physiques dès le XIX^e siècle, en chimie et en biologie à partir du début du XX^e siècle. Depuis lors, non seulement le scientifique est entouré de laborantins et de techniciens spécialisés dans les manipulations expérimentales mais il « bricole » lui-même, car ses découvertes dépendent de plus en plus de l'ingéniosité de ses machines. Cette dépendance technologique abolit certaines cloisons séparant autrefois le chercheur de l'ingénieur, comme le traduit le terme « scientifique » lui-même, qui n'est plus synonyme du « savant » de l'époque moderne ou du début du XIX^e siècle, et ne s'attache pas seulement au seul chercheur théoricien.

Certes, la science peut sans doute encore se pratiquer devant le tableau noir. Mais les techniques ne sont jamais totalement absentes. Elles occu-

pent même une place réelle en ce qui concerne l'inspiration théorique des chercheurs. L'histoire des sciences biologiques présente abondamment de tels exemples, dont le plus connu est sans doute celui des liens entre agronomie et théorie de l'évolution. Pour élaborer la théorie de la sélection naturelle, Charles Darwin s'est non seulement inspiré de la doctrine de Malthus, mais aussi de la pratique des éleveurs britanniques, qui réalisaient déjà une sélection artificielle afin d'améliorer les qualités génétiques de leurs troupeaux. Le rôle joué par les techniques ancestrales dans l'essor de la science moderne est trop connu pour le développer ici. Les remèdes à base de plante ont servi de point de départ à la pharmacopée moderne ; l'acide salicylique est connu depuis l'Antiquité. Encore était-il nécessaire que ces savoir-faire puissent être détachés des superstitions qui leur étaient généralement associées. Cette dernière remarque nous permet de développer un aspect — trop souvent mal compris — de la « préhistoire » des sciences.

Dans les années 1970, les structuralistes avaient en commun avec certains philosophes des sciences renommés, comme Gaston Bachelard pour la physique ou Georges Canguilhem en biologie, de considérer que les théories scientifiques formaient des blocs de connaissances globalement insécables. En fait, l'évolution des idées ressemble davantage à une mosaïque, où les différents éléments peuvent se combiner et se séparer plus ou moins librement. Ainsi, le même thème de la « lutte pour la vie », qui constitue le fondement de la conception darwinienne des rapports entre les êtres vivants, perd son statut scientifique dès lors qu'il est intégré à un paradigme social comme le spencérisme (d'ailleurs chronologiquement antérieur au darwinisme) ou à d'autres évolutionnismes sociaux. François Jacob a opposé l'évolution biologique, résultat d'un processus aveugle apparenté au « bricolage » par réassortiment d'éléments relativement indépendants, à l'évolution des idées, qui résulte de recherches conscientes et finalisées. Mais si l'on considère ces deux domaines — biologie et culture — à des échelles différentes, il apparaît qu'une telle opposition n'est plus pertinente. En effet, les idées ressemblent beaucoup aux gènes (lesquels sont d'ailleurs de plus en plus considérés comme étant des unités « d'information⁸ ») car elles sont réassemblées par le chercheur dans des hypothèses successives, comme ceux-ci sont recombinaison à chaque génération pour former un organisme biologique inédit. Et c'est seulement dans un deuxième temps qu'intervient la sélection : rejet des idées qui ne correspondent pas à la réalité expérimentale ou élimination des individus les plus désavantagés dans la lutte pour la vie.

Un exemple peut nous servir à développer cette idée. Ainsi, le structuraliste Michel Foucault propose-t-il une réponse particulière à un problème classique de l'histoire de la génétique :

On s'est souvent demandé comment les botanistes ou les biologistes du XIX^e siècle avaient bien pu faire pour ne pas voir que ce que Mendel disait était vrai. Mais c'est que Mendel parlait d'objets, mettait en œuvre des méthodes, se plaçait sur un horizon théorique, qui étaient étrangers à la biologie de son époque⁹.

Mais si Mendel a réussi un tel saut conceptuel, pourquoi d'autres ne pouvaient-ils pas le suivre ? D'où vient cette contrainte déterministe ? Foucault répond en invoquant des arguments méthodologiques :

Mendel disait vrai, mais il n'était pas "dans le vrai" du discours biologique de son époque : ce n'était point selon de pareilles règles qu'on formait des objets et des concepts biologiques ; il a fallu tout un changement d'échelle, le déploiement de tout un nouveau plan d'objets dans la biologie pour que Mendel entre dans le vrai et que ses propositions apparaissent (pour une bonne part) exactes.

L'accumulation de formules vagues, et surtout non prouvées, cache mal le fait que les "révolutions" scientifiques, comme l'écrit Thomas Kuhn, sont aussi les lieux de réévaluation de la méthode, et notamment des critères de scientificité des énoncés théoriques. Foucault ne fait donc que déplacer le problème, lorsqu'il écrit : « La discipline est un principe de contrôle de la production du discours. Elle lui fixe des limites par le jeu d'une identité qui a la forme d'une réactualisation permanente des règles¹⁰ ». Mais alors justement, si les naturalistes ne font que discuter des critères d'adoption des découvertes, parallèlement à leur évaluation purement factuelle, quel a été le frein à l'acceptation des lois de Mendel ? Il faut probablement les chercher ailleurs, dans le contexte socioculturel de l'époque. D. Buican suggère de voir dans le déterminisme des sciences physiques de l'époque — auquel s'oppose le probabilisme des lois de la génétique — soutenu par un puissant scientisme, les causes principales du rejet de Mendel au XIX^e siècle, comme de la génétique en France dans la première moitié du XX^e siècle¹¹. Dans ces conditions, on comprend la relative liberté du chercheur à son époque, capable d'émettre des énoncés radicalement nouveaux, qui pourront être retenus ou éliminés selon les critères sélectifs de son temps. Une telle conception montre à quel point l'histoire des sciences et des techniques sont non seulement liées entre elles, mais avec l'ensemble des autres composantes de la discipline historique.

RELATIONS SYNERGIQUES

Depuis quelques années, les sciences humaines ont redécouvert l'intérêt du modèle sélectif pour comprendre l'évolution des systèmes complexes, et notamment des sociétés. Les spécialistes mettent aujourd'hui en évidence l'incursion de facteurs sélectifs particuliers dans l'histoire des phénomènes technologiques, montrant ainsi l'intérêt du paradigme

darwiniste dans l'histoire des sciences et des techniques. Walter G. Vincenti révèle par exemple les conséquences de l'écroulement d'un pont par la force du vent sur l'évolution des techniques de construction¹². Cet auteur montre ainsi que le fonctionnement réel des objets créés par l'homme constitue une pression sélective majeure dans l'histoire technologique. De plus, les objets de conformations différentes, mais qui occupent la même « niche » technologique et/ou économique, car ils ont une même finalité, entrent aussi en concurrence. Les coûts de production, l'esthétique ou certaines relations d'ordre institutionnel entre les inventeurs et les investisseurs expliquent alors leur maintien ou leur élimination, en fonction des critères retenus dans le milieu socioculturel. De ce point de vue, ce étude offre de nombreuses pistes de réflexion, notamment lorsqu'il présente des cas de conflits sélectifs, entre efficacité de la réalisation artificielle et son prix de revient, par exemple, ce qui n'est pas sans rappeler certaines limites dans l'adaptation des organismes biologiques à leur environnement.

Mais la question de savoir jusqu'à quel point il est possible de valider l'analogie entre l'évolution biologique et la dynamique sociale se pose toujours aujourd'hui, mais dans des termes renouvelés. Dans un recueil d'articles intitulé *Technological Innovation as an Evolutionary Process*, plusieurs historiens spécialistes se heurtent à certaines difficultés qui les engagent à ne pas adhérer au paradigme évolutionniste¹³. L'examen attentif de ces problèmes montre cependant qu'en tenant compte des connaissances biologiques actuelles (la théorie synergique), il est possible de découvrir de multiples aspects jusqu'ici négligés dans l'histoire des sciences et des techniques. L'intérêt heuristique du modèle sélectif justifie alors que l'on tente de l'appliquer.

Parmi les difficultés signalées, retenons d'abord le problème de l'absence d'analogie culturelle à l'espèce biologique. Si les historiens considèrent avec intérêt le concept de « même » — défini par le généticien Richard Dawkins comme étant l'unité culturelle, qui, à l'instar du gène pour les populations biologiques, constituerait le support de l'information dans les sociétés humaines — au point qu'ils parlent parfois de « techno-meme¹⁴ », il ne semble pas que les théories scientifiques ou les systèmes techniques puissent former d'ensembles clos, définitivement séparés. Or, telle est précisément la définition de l'espèce biologique : ses membres ne peuvent se reproduire avec ceux d'une autre espèce, ou alors, dans ce cas, les descendants sont eux-mêmes stériles, comme le mulet, produit hybride d'un âne et d'une jument. L'une des spécificités de l'évolution culturelle réside au contraire dans la possibilité de croisement entre la plupart des idées, ainsi utilisables dans une multitude de domaines. Dans l'histoire des sciences, on ne compte plus les cas d'emprunts de thèmes extradisciplinaires, comme justement la tentative d'application d'un modèle sélectif

biologique à l'histoire. Cependant, il n'est peut-être pas inutile de rappeler que la séparation entre espèces biologiques n'est pas aussi nette que la présentation précédente le laisse supposer. L'homme, par exemple, a pu abolir certaines barrières en transférant, de façon artificielle, grâce au génie génétique, certains gènes d'une espèce à une autre. Et les organismes génétiquement modifiés peuvent non seulement survivre, si la manipulation est bien faite, mais encore prospérer dans des environnements eux aussi transformés par l'homme. A partir des manipulations biotechnologiques, on a découvert que de tels phénomènes de « transgenèse » existent aussi dans la nature, et constituent même la spécialité de nombreux virus, qui injectent leur patrimoine héréditaire dans le noyau des cellules. Dès lors, le concept d'espèce pourrait s'appliquer à des ensembles cohérents de « mèmes » (ou d'idées, pour simplifier) formant un système viable mais non complètement étanche. Après tout, les applications d'un modèle scientifique d'une branche de la connaissance à une autre, n'est jamais simple ni automatique. Les théories scientifiques semblent donc bien constituer de telles espèces culturelles, susceptibles d'une évolution par « spéciation ».

Les espèces biologiques peuvent se transformer graduellement au fil du temps (anagenèse) ou se scinder en plusieurs populations qui divergent (cladogenèse). John Ziman et ses collaborateurs considèrent que les modalités de l'évolution culturelle sont beaucoup plus riches : « *The history of technology is full of radical advances, differentiations and divergences that could be described as speciation events. But it also contains convergences and mergers* ¹⁵ ». Cela ne s'oppose cependant pas à l'analogie entre biologie et culture, dans la mesure où les symbioses — ces unions d'individus appartenant à des espèces distinctes pour former des organismes plus complexes — existent aussi dans la nature. Elles constituent même des étapes décisives, en permettant des transformations révolutionnaires de la biosphère, comme l'émergence des premières cellules à noyau, ou l'apparition des êtres multicellulaires. La dynamique culturelle apparaît donc seulement accélérée par rapport à l'évolution biologique, mais non distincte par nature. D'aucuns ont vu dans cette différence de vitesse une difficulté majeure. Pourtant, tous les paléontologues s'accordent à reconnaître un phénomène d'accélération dans la complexité biologique :

Si l'on ramène les 4.5 milliards d'années de notre planète à une seule journée, en supposant que celle-ci soit apparue à 0 heure, alors la vie naît vers 5 heures du matin et se développe pendant toute la journée. Vers 20 heures seulement viennent les premiers mollusques. Puis, à 23 heures, les dinosaures qui disparaissent à 23 h. 40, laissant le champ libre à l'évolution rapide des mammifères. Nos ancêtres ne surgissent que dans les cinq dernières minutes avant 24 heures

et voient leur cerveau doubler de volume dans la toute dernière minute. La révolution industrielle n'a commencé que depuis un centième de seconde ¹⁶ !

Dans ces conditions, l'évolution culturelle prolonge beaucoup plus qu'elle ne rompt avec l'histoire biologique.

La difficulté majeure posée par l'application du modèle sélectif à l'histoire des sciences et des techniques correspond au problème de la finalité. Incontestablement, les chercheurs sont conscients de leur travail, alors que les espèces biologiques évoluent selon un processus aveugle, indépendant de toute volonté. Plusieurs historiens ont tendance à considérer que l'évolution culturelle ne serait pas darwiniste comme l'histoire biologique, mais lamarckiste, ce terme renvoyant à une conception déterministe dans laquelle l'environnement influe directement sur l'organisme biologique et lui indique, en quelque sorte, comment s'adapter. Mais une telle approche, transposée dans la dynamique culturelle humaine, nie l'aspect probabiliste de l'histoire, qui n'est jamais le simple reflet des conditions de possibilité d'une époque, contrairement à ce que semblaient croire les structuralistes. Le rôle du hasard est largement reconnu dans l'histoire des découvertes, de même que la liberté du chercheur, théoricien ou technicien, qui avance par essais et élimination des erreurs. Certes, la plupart de ces tentatives ne passe pas le seuil d'une représentation mentale, et sont abandonnées — parfois à tort — parce qu'elles ne semblent pas adaptées *a priori* — cette dernière expression étant comprise dans le sens « d'avant l'action concrète ». De nombreux découvreurs ont témoigné avoir dû évaluer certaines hypothèses préalablement écartées à plusieurs reprises parce que toutes les tentatives précédentes avaient échoué. Cela confirme d'ailleurs la théorie générale de Thomas Kuhn au sujet des révolutions scientifiques ¹⁷, selon laquelle les chercheurs s'accrochent à leur théorie jusqu'à sa faillite à peu près complète. Cela révèle le caractère conservateur de l'esprit humain, qui n'est pas sans rappeler le principe d'invariance de l'information génétique. Celui-ci est par ailleurs indispensable au progrès, car si tout changeait constamment, il ne pourrait y avoir de progrès ¹⁸.

On ne saurait trop insister sur cet aspect probabiliste de l'évolution biologique, comme de l'histoire humaine. Il nous conduit à bannir certaines expressions, malheureusement fort utilisées — aussi bien par les évolutionnistes que par les historiens ou les géographes — comme celles de « contraintes » pour qualifier ce qui correspond en réalité à des « pressions » de nature sélective. Rappelons que le terme « contrainte » signifie « règle obligatoire », s'exerçant « contre » la volonté de celui qui la subit, et s'oppose donc à « liberté ». On dit par exemple qu'un industriel est contraint d'acheter des machines plus perfectionnées pour que son entreprise reste compétitive. Mais si un tel facteur semble nécessaire à long

terme, il ne s'agit dans tous les cas que d'une possibilité : l'industriel ne se pliant pas à ce commandement courant le risque de faire faillite. Mais certains ne s'adaptent effectivement pas, faute d'un financement suffisant par exemple, ou d'une mauvaise évaluation de la concurrence. De plus, il ne s'agit que d'une option parmi d'autres, surtout à court terme. Un industriel peut, de façon rationnelle, repousser l'achat de nouvelles machines, car il estime que leur coût, ainsi que celui de la formation de ses employés compenserait le gain de productivité. L'adaptation technologique reste ainsi un phénomène de nature probabiliste, issu d'un processus sélectif, car il *s'impose relativement* à l'industriel.

Si certains historiens des sciences et des techniques restent sceptiques quant à la validité du modèle sélectif, c'est surtout parce qu'ils n'articulent pas suffisamment les différents niveaux de la complexité culturelle les uns avec les autres. Les biologistes ont fait face à un problème semblable voici une vingtaine d'années. La théorie synergique de l'évolution, se développant à partir de la biologie contemporaine et de la théorie générale des systèmes de Ludwig von Bertalanffy, repose sur le concept central de « sélection multipolaire ». Celle-ci complète la sélection darwinienne classique, parce qu'elle intègre des pressions sélectives à tous les niveaux de la complexité du vivant. Ainsi, certains naturalistes se disputent encore pour savoir si la sélection naturelle porte sur le gène *ou* sur l'individu, voire sur le groupe ou l'espèce. Mais elle intervient, en fait, à tous les niveaux, selon des modalités différentes. Ainsi, l'homme réalise une sélection génotypique artificielle en insérant le gène humain codant pour l'insuline dans le génome d'une bactérie. Dans l'œuf fécondé, certains chromosomes surnuméraires envoient un signal qui déclenche la destruction des chromosomes portés par le même gamète que lui. Ces exemples prouvent de façon irréfutable l'existence d'une sélection génotypique qui intervient avant la sélection darwiniste classique, laquelle reste basée sur le principe de la lutte pour la vie, entre individus. De la même façon, la sélection culturelle a lieu aussi bien entre idées (dans l'esprit du chercheur), entre théories (généralement soutenues par des individus, voir des groupes différents), voire entre systèmes socioculturels différents (conflits économiques ou militaires internationaux, par exemple).

Si l'on prend désormais en considération une telle théorie synergique des sciences humaines, qui comprend essentiellement une approche probabiliste et un modèle sélectif multipolaire, il est possible de renouveler la compréhension des rapports enchevêtrés entre sciences et techniques.

2. RELATIONS ENCHEVÊTRÉES,
RAPPORTS RÉCIPROQUES

A partir du modèle probabiliste, on peut envisager deux options majeures. Soit les rapports entre sciences et techniques sont favorables, soit défavorables. Cela dépend essentiellement de la nature des forces sélectives s'exerçant sur la société étudiée.

RAPPORTS RÉCIPROQUES FAVORABLES

Dans le meilleur des cas, la technique aide la science, en lui fournissant les instruments pratiques permettant de multiplier les découvertes. Réciproquement, la science peut offrir de nouvelles pistes d'exploration à la technique. Mais l'on considère encore trop souvent que les découvertes théoriques seraient un préalable le plus souvent nécessaire à l'innovation concrète. Ce n'est pas vraiment le cas, comme en témoignent certains débats théoriques, tranchés par certaines applications menées en parallèle. Ainsi, dans son livre célèbre intitulé *Le hasard et la nécessité*, Jacques Monod estimait-il, quelques années seulement avant l'essor du génie génétique :

Non seulement la génétique moléculaire moderne ne nous propose aucun moyen d'agir sur le patrimoine héréditaire pour l'enrichir de traits nouveaux, pour créer un "surhomme" génétique, mais elle révèle la vanité d'un tel espoir : l'échelle microscopique du génome interdit, pour l'instant et sans doute à jamais, de telles manipulations ¹⁹.

Au contraire, dès cette époque, Denis Buican posait les bases de la théorie synergique de l'évolution, qui offre un socle théorique au génie génétique avec le concept de sélection génotypique, clé de la sélection multipolaire. Les biotechnologies actuelles montrent en effet qu'il peut s'exercer une élimination ou une prolifération — par fécondité différentielle — des gènes eux-mêmes, alors que les biologistes considéraient très généralement — et encore souvent aujourd'hui — que la sélection n'opère qu'au niveau individuel. La découverte des cas d'une telle sélection génotypique artificielle est récent (1974), mais l'équivalent naturel était connu — bien que non encore reconnu — depuis les débuts de la génétique classique. Le généticien français Lucien Cuénot avait ainsi mis en évidence chez la souris un gène T, dont la mutation *t* ne se trouvait jamais en double exemplaire. En effet, chez les homozygotes (lignées pures), cet allèle *t* est létal et aboutit à un avortement spontané. Une telle élimination intervient avant la sélection darwiniste classique, qui confronte des individus. Ici, c'est dans le passage du génotype (les informations héréditaires) au phénotype (corps individuel concret) que se produit la sélection. D'où son nom de « sélection génotypique ». Depuis lors, de nombreux cas nouveaux ont été découverts. Cela conduit le généticien Pierre-Henri Gouyon,

sur les traces de Richard Dawkins, à dire : « les gènes entrent en conflit aussi bien dans les organismes qu'entre organismes ²⁰ ».

Grâce aux efforts conjoints réalisés en recherche fondamentale et appliquée concernant les biotechnologies, d'importantes découvertes ont remis en cause certaines connaissances acquises par la génétique classique. Ainsi, Barbara McClintock, dont les travaux ont été finalement récompensés par un prix Nobel — avec cinquante ans de retard — a mis en évidence les transposons (ou « gènes sauteurs » du maïs), tandis que de nombreuses séquences d'ADN se retrouvent parfois répétées en très grand nombre au sein des génomes. Un tel ADN a été qualifié d'« égoïste », car il semble se multiplier indépendamment de tout intérêt pour l'individu, dans la mesure où il ne code pas pour des protéines constituant son phénotype. Mais les séquences génétiques n'ont pas besoin d'être utiles pour se dupliquer. Cependant, il doit exister une limite au-delà de laquelle la quantité d'ADN devient un fardeau désavantageux, voire peut-être létal pour la cellule qui contient cet ADN « égoïste ». Cela est déjà observé dans le cas des espèces polyploïdes — c'est-à-dire qui n'ont pas deux exemplaires de chaque chromosomes, comme l'homme qui en a 23 paires, mais 3, 4, 5, etc. exemplaires de chaque chromosome. Or, cette multiplication de la garniture chromosomique n'est pas infinie et se trouve limitée, peut-être par des phénomènes de « déséquilibre d'ordre génotypique ou cellulaire ²¹ ».

Le génie génétique, et ses applications biologiques, médicales et agronomiques n'aurait-il pas vu le jour sans cette base théorique ? Rien n'est moins sûr, car la technique apporte aussi son lot de découvertes que la science doit ensuite, *a posteriori*, comprendre et intégrer. Mais il est clair que si sciences et techniques avancent en parallèle, elles ne doivent pas se trouver à des stades de développement trop éloignés l'une des l'autre. Car, sans le support matériel offert par les nouvelles techniques, la science piétine. La recherche a besoin de nouveaux appareils plus perfectionnés, qui expliquent sans doute en grande partie le « décollage » successif des différentes sciences (physique dès le XVII^e siècle, chimie autour de 1800, biologie à la fin du XIX^e siècle) et le retard des sciences qui dépendent, pour leur matériel, des découvertes dans les domaines de la physique (nouveaux matériaux, miniaturisation, etc.). Mais sans architecture théorique, la technique stagne également. Elle peut élaborer des systèmes plus perfectionnés, mais pour des gains de productivité de plus en plus dérisoires, malgré un investissement croissant. Cette nouvelle loi des rendements décroissants, bien connue des ingénieurs industriels qui cherchent à améliorer les machines existantes, ne s'applique plus dès lors que l'on change de système technique, généralement du fait d'une découverte scientifique nouvelle. Les travaux théoriques de mécanique ont eu lieu longtemps avant l'essor de la machine à vapeur, comme il existe un

décalage d'environ soixante-dix ans entre la pile Volta et la dynamo de Gramme. Cet écart a aujourd'hui tendance à se réduire entre la découverte scientifique et l'application technologique, suivie de sa transposition dans le domaine industriel, notamment du fait d'une collaboration plus étroite entre les différents domaines. Son existence témoigne néanmoins d'une certaine dépendance de la technique à l'égard de la science. Au total, ces deux domaines sont étroitement interdépendants. Cela explique aussi certains rapports réciproques qui peuvent être défavorables.

RAPPORTS RÉCIPROQUES DÉFAVORABLES

Il arrive que des erreurs dans les observations conduisent à de fausses sciences et à de fausses-techniques. L'un des cas les mieux connus dans l'histoire du XX^e siècle concerne l'affaire Lyssenko, du nom de l'agronome favori de Staline. Ce dernier a défendu des méthodes erronées ou inapplicables, incompatibles avec la génétique et l'agronomie moderne, parce qu'elles semblaient conformes au dogme marxiste-léniniste. Ainsi, Denis Buican s'est interrogé quant à l'origine possible de certaines aberrations théoriques, comme les métamorphoses végétales dont parlait Lyssenko, en disant que le blé pouvait se changer spontanément en seigle, le seigle en avoine et les céréales en mauvaises herbes. Il s'agit sans doute d'observations résultant d'expériences mal faites, car il arrivait, dans l'agriculture traditionnelle, que les grains soient mélangés dans les semis. Il en résultait, au moment de la récolte, un mélange des plantes qui pouvait laisser croire à des transmutations d'espèces. Un cas analogue existe dans la pseudo-technique des hybrides de greffe. Certains naturalistes défendaient l'idée que l'hérédité n'était pas transmise par voie sexuelle (en l'occurrence, les fleurs), mais par la sève, car ils avaient observé la formation d'hybrides entre le greffon et le porte-greffe. Cela est dû au fait qu'ils n'avaient pas empêché une fécondation croisée entre les branches génétiquement différentes. L'intérêt de la greffe réside dans le fait que le porte-greffe ne doit fournir que les substances nutritives. Il faut donc veiller très soigneusement à polliniser le greffon avec ses propres fleurs (ou du pollen provenant de la même variété), et empêcher que le pollen du porte-greffe ne vienne féconder les fleurs du greffon quand une telle fécondation s'avère possible.

A partir de ses fausses observations et du primat qu'il accordait au marxisme-léninisme imposant une conception déterministe à toutes les sciences — lesquelles, justement, commençaient à accorder une place centrale aux phénomènes stochastiques, que ce soit en génétique ou en physique nucléaire — Lyssenko bannit la génétique d'URSS et des pays satellisés d'Europe centrale. Surtout, à partir de sa fausse-science "mitchourinienne", qui reposait notamment sur l'hypothèse — réfutée depuis 1883 — de l'hérédité des caractères acquis, Lyssenko suggéra d'autres

techniques ineptes. Rejetant le principe de la lutte pour la vie, que Darwin avait placé à la base de l'évolution du vivant, mais prônant une entraide des individus inspirée du socialisme, l'agronome de Staline prôna la plantation des arbres en nid dans les régions arides. A cause de la compétition pour l'eau, cette prescription tourna au désastre, les plantes mourrant encore plus vite. Mais Lyssenko eut recours aux trucages statistiques pour faire croire à la validité de ses méthodes passées de l'expérimentation à l'application pratique.

Moins spectaculaires et plus proches de nous, l'on ne peut sans doute comprendre l'affaire de la "mémoire" de l'eau du docteur Benvéniste — qui croyait à l'existence d'une empreinte durable des éléments chimiques sur l'eau après la disparition des molécules respectives de la solution aqueuse — sans faire référence à l'intérêt de ses mécènes dans le développement des produits homéopathiques. Grâce à cette pseudo-théorie chimique, les laboratoires Boirons auraient sans doute pu accroître la crédibilité de certains traitements pauvres en produits actifs.

Dans un contexte de libre concurrence et de libre recherche — comme tel ne fut pas le cas dans l'URSS de Staline — les erreurs ou les supercheries tournent généralement court, même si le consommateur peut occasionnellement payer les frais de montages tout à fait artificiels. Les théories scientifiques erronées ne sont évidemment guère applicables, tandis que les incompatibilités entre science et technique amènent les chercheurs à aiguïser leur sens critique pour rechercher la cause des problèmes rencontrés. Mais lorsque cette liberté de la recherche est entravée, pour d'obscur (dé)raisons idéologiques et/ou mercantiles, ce sont les fondements du progrès scientifique et techniques qui sont menacés, ce qui nous conduit à envisager les questions liées à l'éthique de la recherche — et de l'histoire — des sciences et des techniques.

3. ETHIQUE SCIENTIFIQUE : LIBERTÉ ET RESPONSABILITÉ DU CHERCHEUR

Les exemples précédents montrent déjà la nécessité d'une liberté de la recherche scientifique *a priori*. Cela reste d'ailleurs concordant avec le paradigme probabiliste et sélectif, car les études scientifiques restent imprévisibles. Au contraire, dès qu'il s'agit de l'application des découvertes, les possibles peuvent être généralement prévus, en dehors du risque direct encouru. Cet aspect différencie nettement les rapports entre l'éthique et la science d'une part, la technique de l'autre.

POUR UNE BIOÉTHIQUE SCIENTIFIQUE : LES CAS DE LA BIOLOGIE

La responsabilité du chercheur se trouve généralement engagée de manière différente lorsque l'on considère science et technique. Pour ce qui

concerne la recherche fondamentale théorique, la liberté du scientifique est de rigueur. Outre ce que nous avons déjà évoqué, il faut signaler que les chercheurs ont autant, sinon encore plus intérêt, à se prémunir des risques encourus auxquels ils sont plus directement exposés, que le reste de la société. Il faudrait donc supprimer toute entrave ou censure, qu'il s'agisse d'expression ou d'expérimentation, *a priori*. Les barrières imposées au nom d'une majorité ou d'une minorité bien-pensante peuvent effectivement retarder ou empêcher des découvertes qui s'avèrent ensuite bénéfiques. Notons cependant que la responsabilité du chercheur reste pleine et entière en ce qui concerne la portée de ses actes, comme de ses propos. L'histoire de la biologie permet d'illustrer ce point de vue avec le cas du darwinisme social, ou des idéologies que l'on a ainsi nommées.

Il s'agit d'un champ d'investigation historique très controversé et encore en pleine effervescence. Mais un fil directeur apparaît aujourd'hui de façon manifeste : l'utilisation des thèmes biologiques dans la sphère sociale résulte d'une effroyable confusion des genres. Le généticien Pierre-Henri Gouyon reprend ainsi à son compte une expression due à Thomas Huxley, paléontologue britannique et ami de Darwin, vaillant défenseur de la théorie de l'évolution face aux réactionnaires de l'époque victorienne, et qui estime que « la nature n'est ni morale, ni immorale, la nature est amoral ». Fonder un ordre social sur son modèle relève d'un choix, certes possible, mais qui n'est pas plus légitime qu'un autre, du moins dans l'état actuel des connaissances. Cela était *a fortiori* valable voici un siècle et demi. Pourquoi l'ordre « naturel » conviendrait-il aux sociétés humaines ? Les oppositions entre idéologues libéraux et communistes achèvent d'ailleurs de montrer comment l'on peut utiliser certaines données biologiques au profit de doctrines totalement opposées²². Les naturalistes ne sont donc pas plus habilités que d'autres à promouvoir une idéologie, quelle qu'elle soit. Il en résulte une responsabilité, dans le mesure où le grand public a (eu) tendance à faire une confiance plus ou moins aveugle au scientifique, lequel bénéficie d'une aura de crédibilité fondée sur la notoriété de ses travaux, voire de ses titres. La position de P.-H. Gouyon s'avère, de ce point de vue, tout à fait éclairante :

Nombre d'entre nous pensent que toute action fondée sur une connaissance scientifique est bonne et que toute inquiétude quant à ce type d'action est "irrationnelle". Ils oublient en cela tous les doutes qu'exige une démarche rationnelle. La biologie est, et reste encore, une discipline largement empirique. Ceci a pour conséquence que nous ne savons prévoir que ce que nous avons déjà vu suffisamment de fois pour nous fournir des certitudes (2001, p. 51).

En défendant le doute critique, le naturaliste montre que la science offre une voie difficile et incertaine. Il faut donc garder à l'esprit que ses

assertions sont réfutables, et donc relatives. Plus généralement, parce qu'elle n'est, en soi, ni bonne, ni mauvaise, la science elle-même ne doit pas être entravée. D. Buican écrit ainsi : « les mêmes découvertes d'un Werner von Braun permettent la construction des premiers missiles qui bombardèrent Londres et des premiers engins spatiaux qui déposèrent l'homme sur la Lune ²³ ». Les conditions sont bien sûr différentes pour ce qui concerne une éthique de la technologie, car les conséquences de la pratique représentent un danger potentiel parfois aussi grand que les progrès espérés.

Les dérives spectaculaires des biotechnologies montrent aujourd'hui que les sociétés occidentales n'ont pas tiré toutes les leçons de leurs échecs du passé concernant les applications d'autres sciences, comme la physique nucléaire notamment. Le législateur ne devrait pas hésiter à encadrer plus sévèrement, voire à interdire certaines expériences moralement douteuses, comme celles portant sur le clonage humain. Le moratoire imposé par l'Union Européenne sur les organismes génétiquement modifiés (OGM) — réclamé d'ailleurs par les scientifiques eux-mêmes — fut une excellente initiative, mais cet exemple révèle les limites de ce genre d'initiatives. Tout d'abord, de telles décisions doivent être prises au plan mondial et respectées grâce au consensus pour être valables. Autrement, quelques entreprises, et donc les États auxquels elles appartiennent, peuvent courir des risques majeurs en espérant devancer la concurrence. Les États-Unis ont ainsi conforté leur avance dans les domaines de la biotechnologie, aussi bien au plan pratique que théorique, du fait du moratoire européen. De plus, le poids, non seulement financier, mais aussi politique, des grandes entreprises nécessite le recours à une intervention forte des États. Ceux-ci pourraient être davantage incités à intervenir si la pression de l'opinion était plus forte.

L'autre limite essentielle concerne justement l'information des décideurs — qui devraient être, dans toute démocratie, le grand public éclairé. De ce point de vue, les experts n'ont pas à décider, mais à diffuser les connaissances et révéler les enjeux auxquels les populations sont confrontées. Cependant, la diffusion scientifique demeure aujourd'hui un défi d'autant plus redoutable que peu d'efforts sont encore consentis dans ce domaine par les pouvoirs publics. Le CNRS valorise déjà les travaux de vulgarisation de ses chercheurs. D'autres initiatives ponctuelles visent à présenter la science sous un jour favorable et moins inaccessible qu'elle n'est réputée l'être. Le livre du généticien austro-allemand Erwin Herberle-Bors, récemment traduit en français sous le titre *Génie génétique. Une histoire, un défi*, montre aussi que ces données se périment très vite (2001, version originale : 1996). Mais le fossé semble toujours se creuser entre les recherches de pointe et le niveau moyen de la population. Dans la question des OGM en Europe, l'application du principe de précaution semble ainsi

résulter davantage d'une intense campagne médiatique basée sur des perspectives alarmistes que sur une évaluation sérieuse et compétente des risques encourus à partir des exemples connus.

Ce cas des OGM n'est pas sans rappeler, à l'historien des sciences, la sensibilité exacerbée et passionnelle de l'opinion à l'égard des questions d'hérédité et de génétique. Plusieurs auteurs ont déjà observé que le grand public ne se mêlait pas autant des problèmes posés par les sciences physiques, alors que chacun semble avoir son mot à dire dès qu'il aborde le domaine des sciences du vivant. Il est vrai que ces dernières nous concernent beaucoup plus directement, essentiellement. Erwin Heberle-Bors montre ainsi que l'éducation de l'opinion demeure aujourd'hui un enjeu essentiel :

S'il est un reproche qui ne peut pas nous être adressé, à nous généticiens, c'est bien d'avoir éludé la discussion ou même de ne pas nous être souciés des conséquences sociales des innovations technologiques. [...] dès le début, les scientifiques eux-mêmes avaient débattu des effets résultant des découvertes du génie génétique sur l'homme et sur l'environnement, et comment ils avaient exigé un moratoire temporaire qu'ils ont observé ²⁴.

Cela ne fait que renforcer le sentiment d'urgence devant l'absence de contrôle sérieux des techniques issues de telles recherches. Il en va ici aussi de la responsabilité de l'historien des sciences et des techniques d'apporter son éclairage, afin d'éviter que l'on ne commette les mêmes erreurs que dans le passé. Conformément à la théorie synergique des sciences humaines, élaborée dans d'autres travaux, il semble que l'humanité, tout comme les espèces biologiques, évolue — c'est-à-dire progresse *ou régresse* — par essais et éliminations des erreurs ²⁵.

De ce point de vue, il n'est pas inutile de signaler que la législation sur les risques technologiques adoptée par la Commission européenne repose sur la philosophie de « l'essai amélioré et de l'erreur », ainsi expliquée par Erwin Heberle-Bors :

Elle s'est développée à partir de la constatation suivante : les règlements "réactifs" (c'est-à-dire adoptés à la suite d'un accident) avaient autant d'inconvénients que les règlements "proactifs" (adoptés avant l'accident). [...] La méthode "essai amélioré-erreur" est une combinaison d'éléments réactifs et proactifs. En cas de risque élevé, on procède avec une extrême prudence, alors que dans les situations à faible risque, des essais sont autorisés à petite échelle. Leurs résultats sont contrôlés ensuite en continu (*monitoring*). Par ailleurs, différentes hypothèses de risque spécifiques sont testées en vue d'obtenir des informations empiriques supplémentaires ²⁶.

Et P.-H. Gouyon d'expliquer que le risque-zéro n'existe pas : « [...] nul ne pouvait prévoir la conséquence qu'aurait le fait de donner des farines animales aux vaches. Ou plutôt, il était possible d'imaginer divers scénar-

rios dont certains ressemblaient à la réalité mais aucun ne pouvait être privilégié de façon rationnelle ²⁷ ». Dans de tels cas, des tests préalables devraient être obligatoires. De plus, l'auteur semble établir une équivalence entre choix scientifique et rationnel, ce qui n'est pas toujours le cas. Car le décideur politique n'est pas confronté aux seules données de la science, mais aussi aux attentes du public ainsi qu'à des impératifs de tous ordres. Un choix qui prend en compte ces critères n'est pas irrationnel, il est seulement plus large que celui du chercheur.

Dans ces questions, l'exactitude la plus rigoureuse est nécessaire de la part de tous les acteurs. Car si le modèle probabiliste et sélectif s'avère valide, et que les sociétés humaines évoluent par essais et élimination des erreurs, il faut prendre garde aux risques encourus à tous les niveaux, avant que l'une de ces erreurs n'élimine, éventuellement, l'espèce humaine avec la biosphère.

- 1 p. 396.
- 2 p. 403.
- 3 p. 408.
- 4 p. 410.
- 5 Gérard Noiriel, *Qu'est-ce que l'histoire contemporaine ?*, Paris, Hachette, 1998, p. 151 et 158.
- 6 Georges Canguilhem, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1983, p. 183.
- 7 Voir Cédric Grimoult *Histoire de l'histoire des sciences. Historiographie de l'évolutionnisme dans le monde francophone*, Genève-Paris, DROZ, 2002.
- 8 Richard Dawkins, *Le gène égoïste*, Paris, Odile Jacob, 1996 (1976) et Pierre-Henri Gouyon, *Les harmonies de la nature à l'épreuve de la biologie. Evolution et biodiversité*, INRA Editions, 2001.
- 9 Michel Foucault, *L'Ordre du discours*, Leçon inaugurale au Collège de France prononcée le 2 décembre 1970, Paris, Gallimard, 1971, p. 35-36
- 10 p. 328.
- 11 D. Buican, *Histoire de la génétique et de l'évolutionnisme en France*, Paris, PUF, 1984.
- 12 Walter G. Vincenti, « Real-world variation-selection in the evolution of technological form: historical examples », in John Ziman, *Innovation as an Evolutionary Process*, Cambridge University Press, 2000, p. 174-189.
- 13 John Ziman *et al.*, 2000.
- 14 John Ziman *et al.*, p. 314.
- 15 p. 313.
- 16 Hubert Reeves, Joël de Rosnay, Yves Coppens et Dominique Simonet, *La plus belle histoire du monde. Le secret de nos origines*, Paris, Seuil, 1996, p. 62-63.
- 17 Thomas S. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1983 (1962).
- 18 Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1970.
- 19 p. 180.
- 20 *Op cit*, 2001, p. 47
- 21 Denis Buican, *L'évolution et les théories évolutionnistes*, Paris, Masson, 1997, p. 56
- 22 C. Grimoult « Les marxistes contemporains et l'évolutionnisme biologique », *Communisme*, n° 67-68, 2001b, p. 139-156.
- 23 D. Buican, *La génétique et l'évolution*, Paris, PUF, « Que sais-je ? », 1986, p. 89.
- 24 p. 209.
- 25 C. Grimoult, *Histoire de l'évolutionnisme contemporain en France (1945-1995)*, Genève-Paris, DROZ, 2000.
- 26 p. 213.
- 27 p. 52.

BIBLIOGRAPHIE

- Braudel, Fernand (1967-1979), *Grammaire des civilisations*. Paris : Arthaud-Flammarion, Paris: Armand Colin, 3 vols.
- Buican, Denis (1977a), « L'affaire Lyssenko enterrée et ressuscitée », *La Pensée et les hommes*, pp. 12-16.
- Buican, D. (August 1977b), « Mutation et sélection dans le développement de la science », *XVth International Congress of the History of Science*. Edimburg, pp. 10-19.
- Buican, D. (1978), *L'éternel retour de Lyssenko*. Paris : Copernic.
- Buican, D. (1984), *Histoire de la génétique et de l'évolutionnisme en France*. Paris : PUF.
- Buican, D. (1989), *La Révolution de l'évolution*, Paris : PUF.
- Buican, D. (1991), *L'explosion biologique. Du néant au sur-être ?*. La Garenne-Colombes: Editions de l'Espace Européen.
- Buican, D. (1993), *Biognoséologie*. Paris : Kimé.,
- Buican, D. (1997), *L'évolution et les théories évolutionnistes*. Paris : Masson.
- Buican, D. (2002), « L'évolution de l'évolutionnisme : la théorie synergique », *Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 1997)*. Turnhout (Belgique) Brepols, pp. 333-338.
- Bourdé Guy et Martin, Hervé (1983), *Les écoles historiques*. Paris: Points Seuil.
- Dawkins, Richard (1996), *Le gène égoïste*. Paris : Odile Jacob (1976).
- Gouyon, Pierre-Henri (2001), *Les harmonies de la nature à l'épreuve de la biologie. Evolution et biodiversité*, Paris : INRA Editions.
- Grimoult, Cédric (2000), *Histoire de l'évolutionnisme contemporain en France (1945-1995)*. Genève-Paris : DROZ.
- Grimoult, C. (2001^a), *L'évolution biologique en France : Une révolution scientifique, politique et culturelle*. Genève-Paris : DROZ.
- Grimoult C. (2001b), « Les marxistes contemporains et l'évolutionnisme biologique », *Communisme* 67-68: 139-156.
- Grimoult C. (2002), *Histoire de l'histoire des sciences. Historiographie de l'évolutionnisme dans le monde francophone*. Genève-Paris : DROZ.
- Herbele-Bors, Erwin (2001), *Génie génétique. Une histoire, un défi*, Paris : INRA Editions, (1996).
- Kuhn, Thomas S. (1983), *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion, (1962).
- Monod, Jacques (1970), *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris : Seuil.
- Noiriel, Gérard (1998), *Qu'est-ce que l'histoire contemporaine ?*. Paris : Hachette.
- Ziman, John (ed.) (2000), *Technological Innovation as an Evolutionary Process*, Cambridge : Cambridge University Press.