

# Notes de lecture (2016)

Roland Brémond \*

\* Université Paris Est, IFSTTAR, LEPSIS

*Il n'y a aucune passion que quelque particulière action des yeux ne déclare. Mais encore qu'on aperçoive aisément ces actions des yeux, et qu'on sache ce qu'elles signifient, il n'est pas aisé pour cela de les décrire, à cause que chacune est composée de plusieurs changements qui arrivent au mouvement et en la figure de l'œil, lesquels sont si particuliers et si petits que chacun d'eux ne peut être aperçu séparément, bien que ce qui résulte de leur conjonction soit fort aisé à remarquer (Descartes, 1649).*

Biologie | Histoire des Sciences | Locomotion | Management | Psychologie  
| Regarder | Sociologie | Vision | Voir

## Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient

Cette lettre est adressée par Diderot, fameux encyclopédiste, à Madame de Puisieux (Diderot, 1849). Elle lui vaudra, peut-être pour des raisons scabreuses<sup>1</sup>, d'être enfermé trois mois au fort de Vincennes.

Sous le règne de Louis XV, au siècle des *Lumières*, des philosophes se posent toutes sortes de questions, et tentent d'y répondre avec les seules lumières de la Raison. Diderot discute dans cette *Lettre* de la perception visuelle, en se demandant ce que peuvent nous apprendre les aveugles sur la nature de la vision. Sa tactique est celle du décentrement : ceux qui ne voient pas peuvent nous aider à comprendre une faculté que nous avons du mal (nous les voyants) à imaginer que nous pourrions ne pas l'avoir.

Cet essai est divisé en trois parties, ou plutôt discute du même sujet à partir de trois points de vue, qui ont en commun de s'intéresser à des aveugles de naissance, et à leur manière de percevoir le monde. Il est question de l'aveugle-né du Puisieux, de Nicolas Saunderson, et du problème de Molyneux.



FIGURE 1. Vous connaissez le naturel du mouton, qui est de toujours suivre le premier, en quelque endroit qu'il aille. Aristote le dit aussi au livre 9 de *L'histoire des animaux*; c'est l'animal le plus sot et inepte du monde (Rabelais, 1552) (d'après Brueghel l'Ancien, 1568).

Diderot est allé interviewer un aveugle de naissance, au Puisieux, dans le Loiret, et retrace leur discussion, ce qui lui

permet de présenter un point de vue sur la perception dont la vision est compétement absente. Il présente ensuite Saunderson, mathématicien aveugle, qui avait inventé d'ingénieux procédés tactiles pour faire des calculs et des démonstrations géométriques. Enfin le problème de Molyneux est le suivant : si un aveugle-né retrouvait subitement la vue<sup>2</sup>, et voyait sur une table une sphère et un cube (qu'il ne connaissait jusque-là que par le toucher), serait-il capable de les nommer ?

Ces discussions sont aussi des occasions de raisonner, de prendre le contrepied du sens commun, de manier les paradoxes en posant des questions : qu'est-ce qu'une ligne droite, un miroir, pour un aveugle ? Et une peinture, dont leur propre corps serait la toile ? Que serait un moyen de communication qui passerait exclusivement par le toucher ? Sa conception de la science est moderne : la connaissance n'est jamais définitive, on peut réfuter une théorie, mais une théorie qui n'est pas réfutée peut être fausse sans qu'on le sache encore.

Diderot développe en passant des idées qui font irrésistiblement penser à Darwin - avec un vocabulaire qui est celui du XVIII<sup>e</sup> siècle - sur la sélection naturelle des plus aptes au cours de l'évolution des espèces, et à Piaget sur l'apprentissage de la qualité des objets, en l'occurrence, la permanence de l'objet pour les tout-petits. Il développe aussi, à l'occasion sur le problème de Molyneux, une théorie originale à l'époque sur le fait que la vision est le résultat d'un apprentissage sensori-moteur ; il postule également que si les sens peuvent se compléter<sup>3</sup>, chacun peut se développer sans l'aide des autres.

Il rappelle finalement l'opinion de Montaigne que nous ne savons presque rien (Montaigne, 1595)<sup>4</sup>. *Cependant*, dit-il à sa Maîtresse en conclusion, *combien d'écrits dont les auteurs ont tous prétendu savoir quelque chose ! Je ne devine pas pourquoi le monde ne s'ennuie point de lire et de ne rien apprendre, à moins que ce soit par la même raison qu'il y a deux heures que j'ai l'honneur de vous entretenir, sans m'ennuyer et sans rien vous dire.*

### [que sais-je?]

1. Madame Dupré de Saint-Maur n'aurait pas apprécié une allusion à sa personne, au début de la *Lettre*. Mais il y a d'autres explications possibles à ce séjour à Vincennes, et le matérialisme dont témoigne cette lettre, de ce qui lui arriva *est peut-être la cause*. Par exemple, les Dieux sont présentés comme des créations de la vanité des hommes, qui refusent d'admettre qu'ils ne comprennent pas tout au Monde dans lequel ils vivent.

2. Les premières opérations de la cataracte ont eu lieu dans la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, ce qui a conduit dans certains cas à ce que des aveugles de naissance retrouvent la vue.

3. Au sens de la fusion des informations issues de différentes modalités sensorielles.

4. Montaigne avait fait peindre sur une poutre de sa bibliothèque : *Que sais-je ?*

## Théorie de la démarche

Ce petit essai fait partie de la grande fresque Balzacienne de la *Comédie Humaine*, dans la série des études analytiques. Plus précisément, il s’agit du deuxième volume de la *Pathologie de la vie sociale* (de Balzac, 1833).

Balzac est né en 1799<sup>5</sup> ; il publie la *Théorie de la démarche* en 1833, au début de sa carrière d’écrivain, deux ans avant le *Père Goriot* (Balzac, 1835). Nous sommes juste après les *Trois Glorieuses*, qui ont débarrassées la France de Charles X ; Stendhal vient d’écrire *Le Rouge et le Noir* (Stendhal, 1830), Hugo, qui a triomphé au théâtre dans *Hernani* (Hugo, 1830), vient de publier *Notre Dame de Paris* (Hugo, 1831) ; Beethoven est mort en 1827, et Chopin vient d’arriver en France. Tocqueville et Marx sont encore inconnus, de même que Fechner, von Helmholtz, Darwin, Claude Bernard ou Alexandre Dumas. Daumier moque Louis-Philippe (croqué en poire), mais observe aussi et dessine la vie des rues de Paris ; Baudelaire, qui discutera plus tard de *L’homme des foules* (Poe, 1840) dans *Le peintre de la vie moderne* (Baudelaire, 1863), est encore pensionnaire au Collège Royal, à Lyon.

Ces indications permettent de situer la *Théorie de la démarche* bien avant la constitution de la psychologie ou de la sociologie comme disciplines scientifiques. Nous sommes au début de la révolution industrielle et du développement des villes modernes : les premiers becs de gaz ont été installés à Paris en 1827, et remplacent rapidement les réverbères à chandelles. Le premier omnibus (à cheval) est mis en service, sur les grands boulevards, en 1828. On flâne, on déambule, on va prendre une glace au café Tortoni.

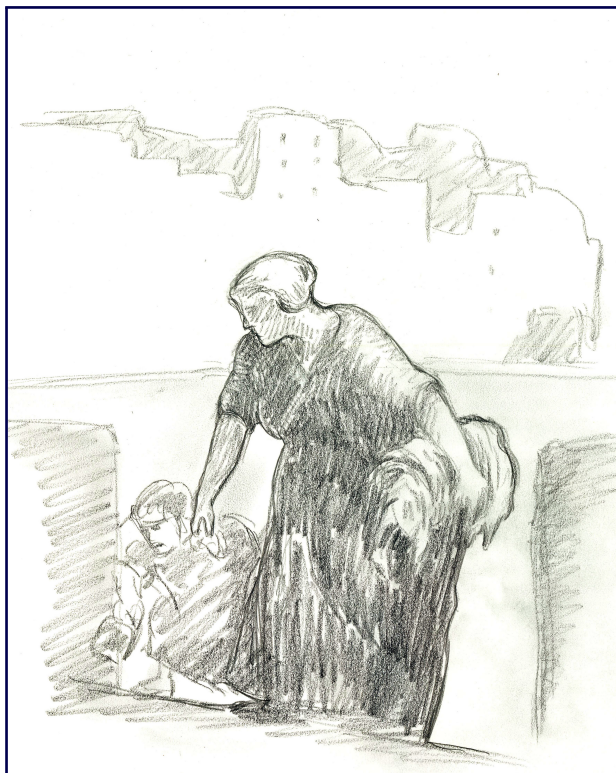


FIGURE 2. Si on sait la déchiffrer, la démarche de nos contemporains nous parle d’eux, de leur vie et de leurs désirs (d’après Honoré Daumier).

Balzac observe le monde social, et il s’amuse beaucoup. Peut-on le qualifier de psychologue ? de sociologue ? de moraliste ? Il est à l’interface, comme plus tard Maupassant, Zola et Proust (et comme Molière et Racine avant eux). Il ne prétend surtout pas au titre de savant, ne s’embarrasse pas de méthode expérimentale, mais emprunte tout de même à la science de son temps la passion de l’observation, et la recherche d’invariants dans les comportements humains. Et avant toute chose, il importe d’avoir de l’esprit<sup>6</sup> !

Ce qui l’intéresse, c’est donc d’identifier les règles de la démarche humaine, et d’en faire une typologie. Car le mouvement trahit l’âme, au même titre que la voix et le regard. « *J’allais donc m’asseoir sur une chaise du boulevard de Gand<sup>7</sup>, afin d’y étudier la démarche de tous les Parisiens qui, pour leur malheur, passeraient devant moi pendant la journée.* » Et de noter, d’observer, comme un caricaturiste, les démarches variées, pour tenter d’en tirer des lois générales. Son état d’esprit est normatif : il cherche les caractéristiques d’une bonne démarche, et à travers un ensemble de pathologies de la marche il découvre progressivement les principes d’une physiologie de la démarche, qu’il nous donne sous forme d’aphorismes - agrémentés d’anecdotes et de remarques qui sont parfois percutantes<sup>8,9</sup>. Se souvenant de la formule de Rousseau, selon laquelle *l’homme qui pense est un animal dépravé* (Rousseau, 1755), il se tourne enfin vers les animaux chez qui il remarque une démarche toujours harmonieuse, contrairement à celle des Parisiens.

## Milieu animal et milieu humain

J’ai lu ce petit livre de von Uexküll (1956) grâce à Georges Canguilhem, qui cite abondamment l’exemple de la tique, pour expliquer la notion d’*Umwelt* (Canguilhem, 1965). Il est également cité parmi les textes fondateurs de l’écologie (Debourdeau, 2013)<sup>10</sup>.

Jakob von Uexküll est un savant allemand né au XIX<sup>e</sup> siècle (1864-1944), qui a étudié à Paris avec Etienne-Jules Marey, l’inventeur de la chronophotographie (Cf. Fig. 7). Il correspond avec Konrad Lorenz (1903-1989), et s’intéresse comme lui - mais avant lui - aux mondes animaux, du point de vue de l’animal. Lorenz fondera l’éthologie animale, tandis que von Uexküll a une approche plus théorique qu’expérimentale. Il tente de décrire le monde animal du point de vue de l’animal, ce qui l’amène d’abord à insister sur la sémantique et les boucles de prélèvement d’information qui déclenchent des actions, pour construire la notion d’*Umwelt*.

L’*Umwelt* de l’animal est son milieu (son environnement subjectif), en tant qu’il a du sens pour lui. Le nôtre, à nous les humains, est différent de celui de la tique, parce qu’il ne contient pas les mêmes signes, les mêmes indices intéressants ; les milieux de différentes espèces sont incommensurables, même s’ils utilisent le même substrat matériel, l’envi-

5. Honoré de Balzac (1799-1850) est contemporain d’Auguste Comte (1798-1857), sociologue et disciple du Comte de Saint-Simon, et d’Eugène Delacroix (1798-1863), peintre romantique, auteur de *La Liberté guidant le peuple* en 1830.

6. Par exemple : *Je pense vraiment que plusieurs bêtes sont chrétiennes pour compenser le nombre de chrétiens qui sont bêtes.*

7. Le boulevard des Italiens.

8. *Qui de nous pense à marcher en marchant ? Personne.*

9. *N’est-il pas effrayant de trouver tant de problèmes insolubles dans un acte vulgaire, dans un mouvement que huit cent mille Parisiens font tous les jours ?*

10. La préface du livre, signée de Dominique Lestel (dont j’ai lu autrefois un très bon livre (Lestel, 2001)), remplace l’œuvre de von Uexküll dans le cadre de la sémiotique animale, qui s’intéresse aux comportements animaux du point de vue du sens (pour eux) de ce qu’ils perçoivent.



ronnement au sens physique. L'idée centrale est anti-mécaniste (l'animal est un *sujet*), l'organisme n'est pas une machine qui réagit à des stimuli avec des effecteurs (arc réflexe), mais un machiniste qui réagit à des signaux par des actions.

La vie d'une tique, comme toute vie, comporte des boucles perceptivo-motrices dans lesquelles le sujet recherche activement un signal, qui d'une part déclenche une action associée (l'acide butyrique déclenche chez la tique femelle un saut dans le vide), d'autre part supprime la recherche de ce signal et éventuellement déclenche la recherche d'autres signaux ; cette boucle s'inscrit donc dans une séquence d'actions qui font un comportement.

Un animal (et *sapiens* comme les autres) vit donc dans un monde, une bulle de savon selon la métaphore de von Uexküll, qui lui fait voir le monde comme un ensemble de signaux signifiants et d'actions potentielles. La proximité avec l'idée d'affordance, proposée par Gibson, saute aux yeux (Gibson, 1979)<sup>11</sup> : des objets du monde appellent une action, dans un couplage perception-action. Mais Gibson a une vision universelle de l'affordance, faite d'invariants inexplicables, alors que pour von Uexküll, l'*Umwelt* est propre à chaque espèce, mais aussi à chaque individu (par exemple celui d'un musicien a ses qualités propres), et donc relève en partie d'un apprentissage. Sans doute cet apprentissage nous semble-t-il plus stéréotypé chez la tique que chez l'homme, mais justement l'homme a la capacité de modeler son propre *Umwelt*.



FIGURE 3. La communication est plus difficile avec des êtres dont l'*Umwelt* est trop différent du notre (d'après Albrecht Dürer, 1505).

Parmi les différents aspects subjectifs de l'environnement, sont mentionnés l'environnement familier, le territoire, et même le compagnon ; ce sont des lieux et des êtres qui ont une tonalité perceptive particulière. Il insiste également sur le fait que la perception de signes signifiants est une décision perceptive, c'est-à-dire qu'on regarde quelque chose, et on l'identifie

(ou pas) à l'un des signes signifiants de notre répertoire. On peut donc faire des erreurs, ou avoir des hallucinations (von Uexküll parle dans ce cas de milieu magique).

### L'œil et l'esprit

J'ai toujours eu du mal avec Merleau-Ponty. Quand j'ai commencé à m'intéresser à la vision, *La phénoménologie de la perception* est l'un des premiers livres que j'ai essayé de lire (Merleau-Ponty, 1945), et j'ai dû du m'y reprendre à plusieurs fois, avec l'impression de patauger dans la mélasse, en direction de feux follets qui apparaissaient de temps en temps au loin, dans le brouillard.

Malgré l'impossibilité de les atteindre, ces feux follets sont importants. Dans *L'œil et l'esprit*, qui est un petit texte tardif, Merleau-Ponty réfléchit sur la peinture et sur la recherche du peintre, du point de vue de la vision (Merleau-Ponty, 1960). Son idée, c'est que le discours intellectuel (et scientifique) sur la perception manque l'essentiel, comme dans la *Dioptrique* (Descartes, 1637) : le fait que c'est *moi* qui voit, avec mon corps, que ce n'est pas une pure opération d'un esprit abstrait. L'idée même d'espace provient de ce que je peux bouger mon corps.

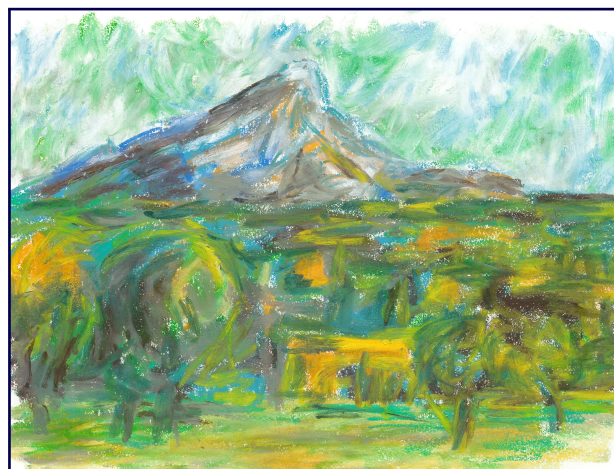


FIGURE 4. La montagne Sainte Victoire a été peinte plusieurs dizaines de fois par Cézanne, avec des points de vue et des jeux de couleurs variés (d'après Paul Cézanne).

Les problèmes auxquels sont confrontés les peintres sont justement les problèmes de la perception : sur le tableau s'assemblent des éléments qui sont vus mais qui ne sont pas l'objet représenté, et on voit bien que ce *ceci n'est pas une pipe*, que le tableau n'est pas le paysage, que c'est juste une toile barbouillée. Elle n'a pas de profondeur, mais qu'est-ce que la profondeur, pour la vision ? qu'est-ce qu'une ligne, un objet ?

La perspective est une manière d'aborder ces questions, en phase avec l'approche de Descartes, mais la peinture de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle (et de la fin du XIX<sup>e</sup>) lui semble plus intéressante en tant que recherche sur la vision : Matisse, Cézanne, Klee, Delaunay (et les impressionnistes avant eux)

11. Il ne me semble pas que von Uexküll soit cité par Gibson (je ne l'ai pas trouvé dans l'index du livre de 1979, peut-être n'a-t-il pas été traduit en anglais). On remarquera en tout cas que Gibson a commencé sa carrière en fréquentant Kurt Koffka, théoricien allemand de la Gestalt (fuyant le nazisme et réfugié aux États-Unis) qui pouvait avoir lu von Uexküll. D'un autre côté, les mondes académiques des psychologues et des biologistes étaient peut-être déjà cloisonnés à cette époque.

cherchent ce qui fait qu'on voit ce qu'on voit, et tentent de donner sur la toile des indications non pas de ce qui est devant eux (l'objet, le paysage) mais de l'effet qui est produit en eux, leur perception de ces objets.

### A Garbage Can model of Organizational Choice

C'est un article amusant, que j'ai découvert parce qu'il était mentionné par François Dupuy (Dupuy, 2015). Il décrit un modèle théorique de management, c'est-à-dire de prise de décision dans une organisation (Cohen et al., 1972). Il s'intéresse à un type d'organisation particulier, l'*anarchie organisée*, définie à partir de trois critères : les décideurs ne comprennent pas bien comment fonctionne le système (*unclear technology*) ; les décisions ne sont pas rationnelles (*problematic preferences*) ; enfin les décideurs ont une capacité d'investissement et d'attention aux problèmes qui est variable (*fluid participation*). L'institution citée en exemple est l'Université.

L'idée est que plutôt que de négocier la solution d'un problème bien défini, ces organisations (dans certaines situations) sont confrontées à des solutions, d'une part, et à des problèmes, de l'autre ; elles prennent des décisions dont les conséquences sont marginalement de résoudre les problèmes. Les décisions dépendent plutôt du stock de décisions disponibles - et de la disponibilité des décideurs. La nature des problèmes à résoudre a tendance à apparaître au fur et à mesure que les décisions sont prises.

### Le champ scientifique

Dans cet article, Pierre Bourdieu décrit le champ scientifique, qui est à la fois un champ social comme les autres, et un champ social particulier puisqu'il sélectionne progressivement des vérités anhistoriques (Bourdieu, 1976). L'article date de 1976 mais c'est une question qu'il a reprise lors de sa dernière série de cours au Collège de France (Bourdieu, 2001), à laquelle j'ai assisté et que j'ai résumée ailleurs.

Bourdieu décrit donc le champ scientifique comme un cas particulier des champs de production symbolique<sup>12</sup>. Ces champs sont des mondes sociaux qui produisent de la valeur symbolique, et dans lesquels les acteurs luttent pour augmenter leur capital symbolique. Ils sont plus ou moins autonomes, selon la perméabilité avec d'autres champs, c'est-à-dire la possibilité pour un acteur de convertir une autre forme de capital (par exemple du capital économique ou médiatique) dans le champ. Par exemple, à l'époque de Galilée, le champ scientifique n'avait pas pris son autonomie par rapport aux champs religieux et philosophique.

Le capital spécifique du champ scientifique, c'est la compétence scientifique. Dans un champ autonome, ce capital est octroyé par les pairs, principalement par ceux qui ont déjà accumulé le plus de capital, à travers diverses institutions (revues, distinctions symboliques, carrière, etc.). La difficulté que Bourdieu essaye d'éviter avec le concept de champ, c'est l'alternative entre une vision enchantée du champ, positiviste (dans le cas du champ scientifique, celle de Merton), dans laquelle la concurrence pure et parfaite des idées produit une science qui poursuit sa marche triomphante, et une vision désenchantée (les médecins vus par Montaigne et Molière) qui décrit un jeu social de lutte entre charlatans pour le pouvoir symbolique.

Je ne peux pas résumer l'article, mais je mentionne sa position par rapport à Kuhn qui décrit les révolutions scientifiques comme des changements de paradigme (Kuhn, 1962) : Kuhn prend pour modèle la révolution Copernicienne, qui représente pour Bourdieu le moment où un champ devient autonome. La révolution menée en physique par Einstein au début du XX<sup>e</sup> siècle est d'un autre genre, à l'intérieur d'un champ déjà autonome.



FIGURE 5. Bourdieu a montré dans son cours sur Manet (Bourdieu, 2013), sur le cas particulier du champ artistique de la peinture, comment un champ devient autonome (d'après un autoportrait d'Edouard Manet, 1879).

Je profite de l'occasion pour citer Fred Reif qui décrit un aspect important de la vie dans ce champ si familier : « *Un scientifique cherche à faire les recherches qu'il considère comme importantes. Mais la satisfaction de l'intérêt ne sont pas ses seules motivations. Ceci apparaît clairement lorsqu'on observe ce qui se passe quand un chercheur découvre la publication par une autre personne d'un résultat qu'il était sur le point d'atteindre. Il s'en trouve presque toujours bouleversé bien que l'intérêt intrinsèque de son travail n'en soit nullement affecté. C'est que son travail ne doit pas seulement être intéressant pour lui mais qu'il doit aussi être important pour les autres* » (Reif, 1961).

### Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie

Georges Canguilhem, philosophe, est surtout connu pour son ouvrage *Le normal et le pathologique* (Canguilhem,

12. Comme par exemple le champ religieux, artistique, ou celui de la haute couture.



1966), que je n’ai pas lu. Il a été directeur de thèse de Michel Foucault, mais aussi de Pierre Bourdieu, avant que celui-ci décide que la philosophie n’était pas sa vocation. Dans cette série d’articles, il s’intéresse d’un point de vue de philosophe à l’histoire des sciences, et principalement aux sciences de la vie<sup>13</sup> (Canguilhem, 2002).

Après une introduction qui pose la question de l’objet de l’histoire des sciences, l’ouvrage est divisé en deux parties : la première est consacrée à des auteurs importants (Copernic, Galilée, Comte, Darwin, Bernard, Bachelard), la seconde à des problèmes particuliers en sciences de la vie. Je suis devant ce livre comme devant le fumet du banquet allumé par Prométhée : je suis mis en appétit, mais je n’ai pas accès à la substantifique moelle. Je me contente donc de quelques remarques au fil de l’eau.

**L’objet de l’histoire des sciences.** Dans cet article, Canguilhem se demande *de quoi* l’histoire des sciences est l’histoire (Canguilhem, 2002 [1966]). C’est évidemment une provocation, et sa réponse lui permet de préciser que pour avoir un intérêt, l’histoire des sciences doit oublier la notion de précurseur (ça n’existe pas), et essayer de comprendre le contexte qui a fait que ce qui nous semble maintenant évident ne l’était pas.

**Vésale et Copernic.** En 1543, Copernic fait paraître *De revolutionibus orbium coelestium*, tandis que Vésale publie *De humani corporis fabrica*. Je n’avais jamais tant lu le nom de Vésale, anatomiste belge né en 1514, qui est un des grands humanistes de la Renaissance. Canguilhem compare la révolution copernicienne, qui détruit un cosmos anthropocentrique, et celle engagée par Vésale, qui met au contraire l’homme au centre de son étude — en le libérant des relations médiévales de type magique entre microcosme et macrocosme (Canguilhem, 2002 [1964]c).

**Galilée.** En 1564 naissent Galilée et Shakespeare, tandis que Michel-Ange et... Vésale disparaissent (Canguilhem, 2002 [1964]a). Galilée a soutenu, contre l’Eglise, le système de Copernic, en partant d’un point de vue de mécanicien, à une époque où la mécanique se mathématise : il formule le premier la loi (mathématique) de la chute des corps. C’est à partir de cette expérience qu’il s’intéresse à la mécanique céleste.

**Auguste Comte.** Canguilhem discute, dans trois articles, différentes opinions d’Auguste Comte (1798-1857), fondateur du positivisme ; ces discussions portent sur la biologie, la médecine et la psychologie. On trouve dans le premier article l’idée originale (me semble-t-il) que les sciences de l’Homme, comme la psychologie et la sociologie, relèvent de la biologie, dans la mesure où elles traitent du vivant, par opposition aux sciences naturelles (Canguilhem, 2002 [1958]).

Dans le second, Comte appelle *fétichisme* une attitude fondamentale de l’Homme qui consiste à rechercher des explications causales à ses observations, en prêtant aux êtres qui l’entourent des volontés (Canguilhem, 2002 [1964]b). Cette attitude est pour Comte première, historiquement, ce qui l’oppose aux spéculations des savants chrétiens de l’époque pour qui le polythéisme est premier. Il considère d’ailleurs qu’elle n’est pas spécifiquement humaine et qu’elle a des racines dans le monde animal<sup>14</sup>. Le fétichisme est certes une attitude simpliste, mais Comte la considère positivement<sup>15</sup>, car elle contient les prémices de l’évolution ultérieure de l’esprit

humain. Le moteur du développement de l’esprit (l’idée vient d’Adam Smith), c’est la curiosité, le besoin incessant de rechercher la cause des événements inexplicables<sup>16</sup> ; c’est donc le même mouvement qui a donné naissance à la science.

**Charles Darwin.** Dans un premier essai commémoratif, Canguilhem évoque le centenaire de la publication de *L’origine des Espèces* (Darwin, 1859), et en particulier la relation entre Charles Darwin et Alfred Wallace, qui lui avait soumis pour avis, avant publication, un mémoire dans lequel Darwin a retrouvé bon nombre d’idées voisines des siennes sur la sélection naturelle<sup>17</sup> (Canguilhem, 2002 [1959]). Cette circonstance a beaucoup touché Darwin, et l’a décidé à publier ses travaux. Les scrupules des deux savants et les circonstances de cette double publication par la *Linnean Society* sont très intéressantes.

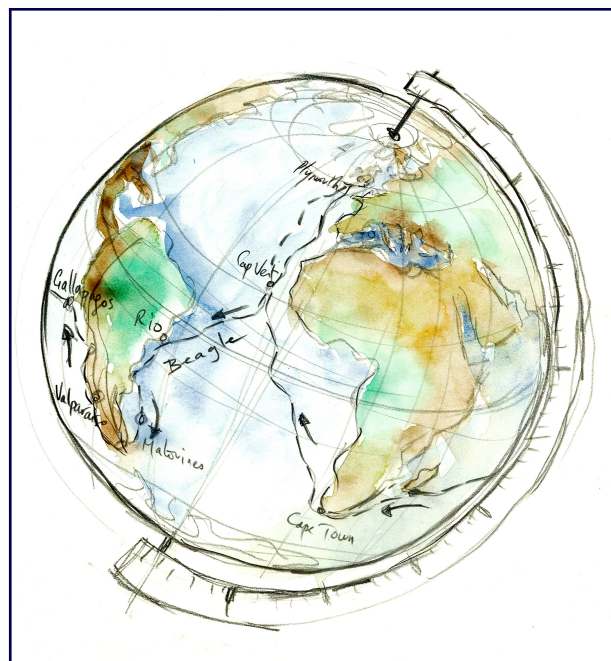


FIGURE 6. Entre 1831 et 1836, Charles Darwin sillonne le Globe à bord du *Beagle* ; ses observations seront publiées peu de temps après son retour (Darwin, 1839).

L’homme et un animal. Dans un deuxième essai, Canguilhem (2002 [1960]) discute la position de Darwin sur les rapports entre psychologies animale et humaine. Darwin a publié un livre qui aborde le sujet des émotions animales et humaines (Darwin, 1872) ; il aborde également ces questions dans *The descent of Man* (Darwin, 1871) [que je n’ai pas lu]<sup>18</sup>. Le propos principal de Canguilhem est de noter que Darwin reste

13. Je n’ai pas lu la deuxième partie.

14. Remarquons que *L’Origine des Espèces*, de Darwin, est publié en 1859, 2 ans après la mort de Comte.

15. C’est le moins que pouvait faire le fondateur du Positivisme !

16. Ce qui est invariable et permanent ne suscite pas de question : Comte note ainsi que « Smith a très heureusement remarqué qu’on ne trouvait, en aucun temps ni en aucun pays, un Dieu pour la pesanteur » (Comte, 1907).

17. Dans une lettre à Lyell, il note : « Nous différons sur un seul point, en ce que j’ai été amené à adopter mes vues par suite de ce que la sélection artificielle a fait pour les animaux domestiques ».

18. La comparaison des facultés humaines et animales n’est pas neuve, et Canguilhem rapproche de façon intéressante Darwin de Montaigne dans *L’apologie de Raymond de Sebonde* (Montaigne, 1595).

en partie anthropocentré dans son approche, en projetant (au contraire de von Uexküll plus tard (von Uexküll, 1956)) les conceptions psychologiques des humains sur les animaux<sup>19</sup>.

**Claude Bernard.** La plupart des savants sont connus par leur nom : si on mentionne Newton, Freud ou Bourdieu, tout le monde comprend de qui on parle. Pour Bernard, c’est différent : il est rare de rencontrer son nom isolé, sans le prénom ; c’est un peu comme s’il s’agissait de Monsieur Claude-Bernard, comme on dit Monsieur le Duc de La Rochefoucauld-Liancourt. Mais ce n’est pas cette curiosité qui intéresse Canguilhem, qui consacre tout de même quatre essais à l’auteur de *l’Introduction à l’étude de la médecine expérimentale* (Bernard, 1865).

Claude Bernard présente la méthode expérimentale comme l’avenir de la médecine, pour ce qui est de la production des connaissances, et s’oppose ainsi à la tradition qui depuis Galien était centrée sur l’anatomie et l’observation des pathologies. Rupture également lorsqu’il promeut l’utilisation de modèles animaux, qui a fait fortune en biologie. Canguilhem montre que le maître de Bernard, Magendie, avait proposé l’idée de médecine expérimentale, sans la concrétiser (Canguilhem, 2002 [1965]) : c’est Bernard, par ses travaux sur le foie comme producteur de matière sucrée, qui y arrive d’abord par la pratique, puis par une réflexion sur sa propre pratique, en fait la théorie<sup>20</sup>. Du point de vue de la méthode, Canguilhem montre (après Bergson), que la démarche de Bernard a commencé par des découvertes, avant d’avoir cette attitude réflexive qui lui a fait se demander comment il avait fait, et enfin à rédiger son livre-programme (Canguilhem, 2002 [1968]).

On trouve chez Bernard l’idée que la pathologie ne se comprend que par la physiologie (idée reprise de Broussais contre Pinel), et celle de milieu intérieur, qui est celui des organes, de la physiologie. Bernard se méfie beaucoup du matérialisme, au sens où l’homme est une machine mécanique qui se comprendrait par la physique et la chimie : le vivant est un tout qui ne se découpe pas facilement en petits morceaux<sup>21</sup>.

**Gaston Bachelard.** Canguilhem est un disciple de Bachelard, l’auteur de la *Psychanalyse du feu* (Bachelard, 1949) que j’ai lu il y a bien longtemps, et de *La formation de l’esprit scientifique* (Bachelard, 1938) que j’ai lu plus récemment. Trois essais sont consacrés au *Maître* : ces essais datent tous les trois de 1963, l’année qui suit la mort du Grand Gaston (Canguilhem, 2002 [1963]c,b,a). Le concept le plus important proposé par Bachelard pour l’histoire des sciences est celui d’obstacle épistémologique : il attire l’attention sur le fait que ce qui fait obstacle au progrès de la connaissance n’est pas dans les choses, comme si les savants résolvaient des problèmes de plus en plus difficiles, mais dans la pensée elle-même, dans le système de croyances du savant qui fait obstacle à la nouveauté (Canguilhem, 2002 [1963]c). Bachelard parle d’« instinct de conservation de la pensée » (Bachelard, 1927). Une autre idée importante est que l’esprit scientifique est fondé sur le doute permanent. Pas le doute radical — mais temporaire — de Descartes, mais un doute local, limité à un problème, mais permanent, et qui ne disparaît pas après résolution du problème : il se déplace.

### Animal locomotion

Ce manuel universitaire présente différents aspects de la locomotion animale (Biewener, 2003). On commence par

la mécanique des muscles et des squelettes (internes ou externes), et on finit par les questions de production et de consommation d’énergie (aérobie, c’est-à-dire avec consommation d’oxygène, et anaérobie, sans oxygène) et de contrôle-commande des muscles par le système nerveux.

Le gros morceau, ce sont les différents mécanismes de locomotion et la description des différentes solutions « trouvées » par différentes espèces<sup>22</sup> pour résoudre les questions liées à la locomotion : efficacité énergétique, préservation de l’organisme, performance à court et à long terme pour les différents objectifs de la locomotion (échapper à un prédateur, capturer une proie, migrer, rechercher sa nourriture, etc.).



FIGURE 7. Comme son nom l’indique, l’animal est un être animé, capable de contrôler le mouvement de son corps, ce qui permet toutes sortes de stratégies de locomotion (d’après Etienne-Jules Marey, 1882).

Il se dégage de ce livre l’impression que l’ensemble du monde animal est soumis aux mêmes contraintes, et que l’évolution a sélectionné des solutions qui sont à chaque fois optimales dans un certain sens. Les muscles sont partout les mêmes, ou presque, seule la taille change, mais les briques biologiques sont universelles ; du coup les besoins énergétiques et les modes de stockage et de consommation se ressemblent, de la fourmi à la baleine. De même, les contraintes de la mécanique des structures s’appliquent à tous, et ont sélectionné massivement des espèces à squelette, c’est-à-dire formés de parties (relativement) rigides que les muscles font bouger<sup>23</sup>, et de tendons ou équivalents, qui sont des amortisseurs et des lieux de stockage d’énergie potentielle pendant le mouvement.

C’est le milieu physique qui impose les contraintes spécifiques conduisant à telle ou telle solution technique dans le *design* du système de locomotion. Il y a essentiellement deux types de milieu, le fluide (eau et air), milieu 3D, et la terre

19. De ce fait, et très logiquement, Darwin pense que des animaux peuvent être fous au même titre que des humains.

20. Je signale en passant un document qui m’intrigue, contemporain de *l’Introduction*, du chimiste Michel-Eugène Chevreul : les *Lettres à M. Villemain sur la méthode en général et sur la définition du mot « fait »* (Chevreul, 1856). Chevreul est aussi le découvreur de la loi des contrastes simultanés en vision des couleurs.

21. C’est ce que Canguilhem appelle une méthode *de style non Cartésien* (Canguilhem, 2002 [1968]).

22. Il est difficile de toujours éviter les expressions téléologiques, finalistes : ici par exemple, j’aurais du parler des *solutions sélectionnées par l’évolution chez différentes espèces*.

23. La force par unité de surface produite par un muscle est très stable dans tout le règne animal, entre 20 et 30  $N/cm^2$ .



ferme, milieu principalement 2D. Les systèmes sélectionnés dans les deux cas sont très différents : les mouvements dans les fluides sont produits par des oscillateurs (oscillation du corps chez les poissons, des ailes chez les oiseaux et les mouches), qui s’opposent aux membres articulés utilisés sur la terre ferme comme au fond des mers<sup>24</sup>.

Il y a tout de même des options différentes selon les espèces, entre squelette interne et squelette externe, par exemple, mais aussi entre température du corps régulée ou non<sup>25</sup>. D’autre part, les différentes contraintes n’ont pas le même impact selon la taille du corps. Du coup, on découvre tout un ensemble de curiosités biologiques, comme le fait que les insectes volant sont obligés de se chauffer, littéralement, pour pouvoir décoller ; ce sont donc des animaux à sang chaud, si l’on peut dire, le temps du vol. Je me suis aussi rendu compte qu’il y a deux régimes hydrodynamiques<sup>26</sup>, le régime des poissons, avec une inertie importante, et le régime des bactéries, pour lesquelles le mouvement est réversible (remettre le corps dans la position initiale replace l’animal à sa position initiale). Anecdotiquement, certains dispositifs sont inattendus, comme les catapultes des sauterelles (et d’autres insectes), ou le rotor de certaines bactéries.



FIGURE 8. La course du chat (d’après Eadweard Muybridge, 1887).

Le squelette est modélisé, en biomécanique, avec des matériaux élastiques dont on calcule la rupture, ce qui permet d’expliquer le dimensionnement et le domaine de fonctionnement pour l’organisme vivant. D’une manière générale, je suis frappé de voir à quel point les problèmes traités sont des problèmes de mécanique, et plus précisément de dynamique (équilibre, puissance, force de réaction du sol, systèmes de masses-ressorts, etc.). Les interfaces constituent une situation particulière : nager avec une partie du corps hors de l’eau, décoller du sol, ce sont des situations compliquées et qui représentent un coût supplémentaire pour l’animal.

### La faillite de la pensée managériale

Ce livre de François Dupuy fait suite à un précédent qui s’intitulait *Lost in management*, et que je lirai plus tard (Dupuy, 2011). Dupuy est aussi l’auteur de *La fatigue des élites*, que j’ai lu autrefois (Dupuy, 2005). Une des raisons de l’intérêt de ce livre (Dupuy, 2015) est que même si l’auteur vise principalement le management dans les grosses boîtes privées, les ressorts qu’il démonte sont également présents dans un institut comme l’Ifsttar.



FIGURE 9. Max Weber distingue trois types d’autorité sociale, qu’il appelle traditionnelle (un seigneur), rationnelle-légale (un préfet) et charismatique (le *Che*) (d’après Pierre Culliford, 1965).

Dans ce livre, Dupuy décrit les difficultés du management ordinaire, et met l’accent sur les solutions clé en main qui ne marchent pas, en essayant de mettre en évidence pourquoi elles ne marchent pas. C’est un livre dense et je ne peux que rapporter quelques exemples et anecdotes qui m’ont marqués.

Il y a une idée qui parcourt ce livre, c’est l’obsession des managers à définir des objectifs, comparée au désintérêt pour l’exécution. Une autre idée importante, qui a semble-t-il été développée dans le premier volume (Dupuy, 2011), c’est le désinvestissement massif des gens vis-à-vis de leur travail, auquel les managers ont tendance à répondre par plus de contrôle (*reporting*), ce qui est inefficace. Ce désinvestissement, d’après lui, est une réaction à la baisse d’autonomie dans le travail. On demande aux gens de collaborer, de travailler en réseau, en projet, ce qui semble positif dans le monde des Bisounours, mais induit du stress, des conflits et une fragilité, une dépendance aux autres qui est nouvelle.

Une idée intéressante, c’est le niveau absolument crasse de culture générale des managers. Dupuy pense que c’est une des causes de leur incapacité à prendre les bonnes décisions. Il met au premier plan leur inculture dans le domaine du management<sup>27</sup> ; il ne fait pas ici référence aux formations en management dans les *business schools*, mais aux acquis des sciences sociales sur le fonctionnement des organisations, qui ne sont pas enseignés dans ces écoles. A la place, c’est l’opinion, le sens commun et l’anecdote qui servent de boussole, ce qu’il appelle la paresse intellectuelle et l’aversion pour la complexité.

Dans un chapitre intitulé *structure et organisation*, il met l’accent sur la confusion habituelle entre la structure (hiérarchique) et l’organisation, qui désigne pour lui la manière dont l’entité fonctionne réellement. C’est la distinction, si on veut, entre formel et informel. Un des problèmes dans la conduite du changement, c’est quand on change la structure alors qu’on voulait changer l’organisation : c’est plus facile, mais peu efficace.

Le chapitre *Qui commande ?* définit le pouvoir par le fait de contrôler quelque chose d’important pour d’autres acteurs, ou

24. Mais jamais de roues !

25. Le thon est malin, il ne chauffe que les muscles qui en ont besoin.

26. Du point de vue du nombre de Reynolds.

27. Il me semble qu’ils auraient aussi plus de recul en lisant Montaigne, Racine ou Elias.

28. Crozier appelait ça *contrôler une incertitude pertinente*.

pour l’Organisation elle-même<sup>28</sup>. Il en déduit logiquement la situation misérable du Chef de Projet, qui a des obligations de résultat sans les ressources pour y arriver. Le management règle en général le problème en le culpabilisant, en pointant son manque de *leadership*. Plus généralement, le responsable de proximité a souvent peu de pouvoir, ce sont les agents de base qui produisent la valeur et qui « contrôlent quelque chose d’important ». On en a un écho, également, dans le fait que souvent le *top management* n’a aucune idée du fonctionnement réel de la boîte.

Le chapitre sur *l’intérêt général* se demande si cette expression a un sens. Même s’il y a des intérêts divergents dans une entreprise, la réponse proposée par Dupuy n’est pas marxiste : le rôle de la hiérarchie devrait être d’organiser la recherche de compromis entre les acteurs<sup>29</sup>. Si les acteurs ne peuvent ajuster les entrées-sorties du système (virer des gens, changer de fournisseur), il y a peu de choses à négocier et on bascule vers un focus interne, les intérêts communs portant sur la survie de l’organisation, les *ouputs* devenant secondaires (typiquement, une administration qui tourne à vide, comme dans les pires cauchemars bureaucratiques (Zinoviev, 1976)). En général ce n’est pas ce qui se passe, et le management définit l’intérêt général comme son intérêt particulier (ce qui nuit à sa crédibilité), tout en se plaignant du *chacun pour soi*. Or selon Dupuy il n’y a rien de plus normal que le chacun pour soi, qui n’est que l’expression de l’intelligence des acteurs, et l’organisation du travail doit faire que le chacun pour soi (essentiellement à court terme) contribue aux objectifs de l’entreprise.

### Cone fundamentals : A model for the future of colorimetry

Cet article reprend une présentation à laquelle je n’ai pu assister lors de la session de la CIE<sup>30</sup> à Manchester, en 2015 (Viénot, 2016). Françoise Viénot présente les travaux du TC 1-36 de la CIE<sup>31</sup>, qui a adoptée une définition de référence pour les fonctions de sensibilité spectrale des cônes de la rétine L, M et S, sous le nom de  $\bar{l}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{m}_{10}(\lambda)$  et  $\bar{s}_{10}(\lambda)$  (CIE, 2006).

La colorimétrie était définie jusque-là par des courbes colorimétriques ( $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$ ) proposées par la CIE en 1931 et basées uniquement sur des données psychophysiques (CIE, 1932), c’est-à-dire sur les jugements subjectifs d’un ensemble de gens à qui on a posé des questions concernant des stimuli visuels<sup>32</sup>. Depuis, les développements de la biologie (Morange, 2016) ont permis de mesurer les courbes de sensibilité spectrales des cellules photo-réceptrices - en particulier, des cônes.

Quel est le rapport entre les deux ? L’information visuelle transmise au cortex provient (en vision photopique) des signaux électriques issues des cônes, qui résultent eux-mêmes de la convolution du signal d’entrée (la lumière) avec les courbes de sensibilité spectrales de ces cônes. Il y a donc une perte d’information<sup>33</sup> entre le signal d’entrée, de dimension infinie, et le signal de sortie, de dimension 3 comme les 3 types de cônes L, M et S<sup>34</sup>. Il est donc naturel de penser que quels que soient les traitements de l’information dans la rétine puis dans le cortex, c’est sur la base de ce triplet LMS que l’observateur va porter son jugement sur les stimuli qu’il voit.

Les courbes de sensibilité des cônes peuvent donc être considérées comme des contraintes théoriques qui conditionnent les jugements psychophysiques. C’est ainsi qu’on peut

comprendre la démarche qui a conduit le TC 1-36 à construire un nouvel espace colorimétrique à partir des courbes de sensibilité spectrales de cônes (CIE, 2006). Cet espace est basé non seulement sur des données psychophysique, mais compatible avec les connaissances en physiologie et en optique (CIE, 2015).

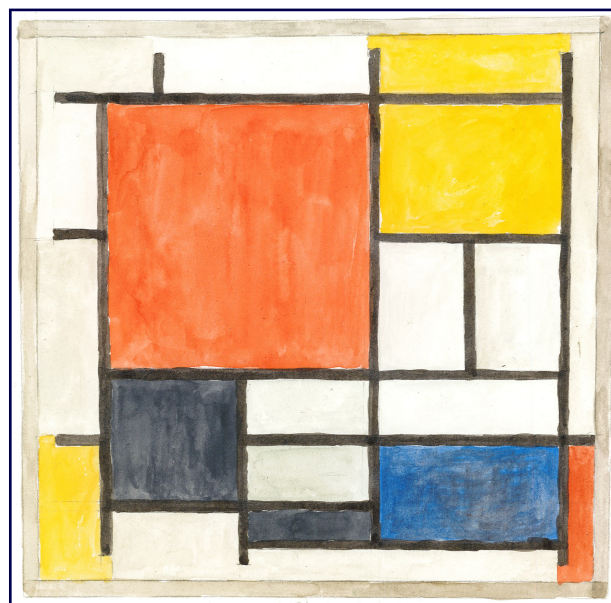


FIGURE 10. Les couleurs que nous voyons sont produites en nous par les signaux électriques issues des cônes, cellules photo-réceptrices situées dans la rétine, et transmises au cortex par le nerf optique (d’après Piet Mondrian, 1926).

Deux points sont importants du point de vue pratique. D’une part, une des conséquences de ce travail est l’adoption d’une nouvelle version de la courbe de sensibilité spectrale  $V(\lambda)$ , qui est une combinaison linéaire des courbes de sensibilité des cônes L et M<sup>35</sup>. D’autre part, et ça en découle, les fonctions  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  sont modifiées (en particulier,  $\bar{z}$  est proportionnel à S), et donc les fonctions colorimétriques  $(x, y)$  et  $(X, Y, Z)$  sont également modifiées.

Il faut lire l’intégralité des rapports de la CIE pour avoir les détails (CIE, 2006, 2015), en particulier sur le fait que les courbes  $\bar{l}(\lambda)$ ,  $\bar{m}(\lambda)$  et  $\bar{s}(\lambda)$  dépendent à la fois de la taille du stimulus (entre 1 et 10 degrés) et de l’âge<sup>36</sup>. En attendant, les nouvelles fonctions sont disponibles sur le site web du *Colour and Vision Research Lab* de l’*University College* de Londres : [www.cvrl.org](http://www.cvrl.org)

29. Si j’ai bien compris, c’est ce qu’on appelle la *Théorie de la Firme*.

30. CIE : Commission Internationale de l’Eclairage

31. TC : *Technical Committee*, le 36<sup>e</sup> de la Division 1 de la CIE, qui traite de la vision.

32. Par exemple, « est-ce que ces deux couleurs sont les mêmes ? »

33. On peut aussi parler de codage de l’information.

34. Lorsque deux spectres lumineux sont codés par le même triplet, on ne peut pas les distinguer : ce sont des métamères. Le codage de la couleur crée ainsi des classes d’équivalence parmi les spectres lumineux.

35. Une conséquence inattendue de cette définition de la luminance est qu’on peut avoir un signal transmis par les cônes S à luminance nulle.

36. La courbe de sensibilité spectrale des cônes proprement dits ne dépend pas de l’âge, elle est liée à une interaction entre la lumière et une rhodopsine. Par contre la lumière traverse le milieu oculaire, qui a les propriétés d’un filtre optique qui évolue avec l’âge. Les courbes de sensibilité proposées par la CIE (2006) tiennent compte de ces deux composantes.



## Learning : a very short introduction

L'apprentissage est à la mode chez les machines (LeCun et al., 2015), et j'ai voulu connaître le point de vue d'un psychologue sur les connections entre apprentissage animal, humain et droïde (Haselgrove, 2016). Maldonne ! Avec ce livre, j'ai eu l'impression de faire un saut dans le passé, et de revenir à Pavlov. Car si le sujet est bien l'apprentissage, le propos de Haselgrove porte presque exclusivement sur le conditionnement. Il est question de Thorndike, de Pavlov, de Skinner, et de leurs expériences sur les chats, les chiens et les rats.

Le modèle général est essentiellement celui de l'association (ce qui finalement nous ramène au XIX<sup>e</sup> siècle). L'association mentale entre deux... choses est renforcée par la co-occurrence d'un stimulus<sup>37</sup> et d'une réponse<sup>38</sup> (attention à ne pas parler de cause et de conséquence), et plus encore s'il y a un *reward* au bout. Autrement dit, les animaux sont structurés pour « apprendre » les invariants dans leur environnement (des patterns spatio-temporels, si je peux dire), et les associer à des valeurs (positives ou négatives) dans des contextes particuliers, via des *rewards*.

Je pourrais chipoter. Par exemple, la notion de stimulus qui est utilisé est arbitrairement choisie par l'expérimentateur ; or les *patterns* que perçoivent les rats et les pigeons sont *a priori* différents de ceux que les expérimentateurs manipulent. Ce n'est pas simplement une cuistrerie, car dans un certain nombre de cas cités, cette simple différence explique les résultats des expériences. Plus important, j'ai ressenti une absence de curiosité sur les mécanismes (psychologiques et physiologiques) qui pourraient expliquer les résultats expérimentaux. On a là un contraste avec la démarche habituelle en psychologie, qui propose des modèles et formule des hypothèses, avant de rechercher - avec les neurosciences - des mécanismes plausibles.



FIGURE 11. En 1904, Alexandre Pavlov reçoit son prix Nobel pour ses travaux sur le conditionnement ; la même année, Coca-Cola lance le slogan *Delicious and Refreshing* (d'après une réclame d'époque). Coïncidence ?

La théorie du conditionnement qui est présentée ici est solide, mais elle n'admet qu'un seul paradigme expérimental<sup>39</sup>, et porte peu d'intérêt aux conditions réelles de la vie animale ou humaine. On sent un attachement à une théorie cohérente mais qui n'est plus très productive<sup>40</sup>. Je n'ai trouvé qu'une seule concession, avec une mention des travaux du prix Nobel Daniel Kahneman, qui a montré que la prise de décision pouvait (chez l'homme) prendre deux chemins, l'un rapide et l'autre lent (Kahneman, 2002) ; le premier est ici assimilés à l'association SR, tandis que pour le second, une représentation et un raisonnement délibératif sont acceptés, d'assez mauvaise grâce.

Pourtant, c'est peut-être ce statut de dinosaure behavioriste, qui assume le refus complet de la révolution des sciences cognitives, qui me semble le plus intéressant. Il est bon que pendant que des chercheurs font avancer la science *mainstream*, des pôles hétérodoxes, viables, continuent à travailler et à poser des questions simples et pertinentes (même si elles sont actuellement inaudibles) à ces chercheurs *mainstream*.

Je reviens d'autre part sur deux discussion ouverte par Haselgrove, sur la « surprise » et sur les neurones miroirs. J'ai eu la surprise de voir formuler le paradigme de l'apprentissage au moyen de la notion de *surprise* (Itti & Baldi, 2009) : ce sont les patterns surprenants (c'est-à-dire qui s'écartent de nos attentes) qui attirent notre attention, et qui nous permettent de retenir quelque chose de nouveau (de renforcer des associations). Au contraire, si nos connaissances nous permettent de prédire correctement, il ne se passe rien de saillant et on n'enregistre rien. Il y a là un lien entre attention, prise d'information et apprentissage, qui semble important mais qui n'est pas développé.

Haselgrove fait aussi une remarque intéressante sur les neurones miroirs (ceux qui s'activent à la fois quand je prends un marteau et quand je vois quelqu'un prendre un marteau). L'idée est que notre propre corps n'est pas à nous depuis le début, il y a un apprentissage du corps propre qui pourrait expliquer que dans la représentation neuronale, *je est un autre*<sup>41</sup>, mais un autre dont on a appris (depuis tout petit) qu'il est très corrélé à nos intentions et à nos émotions, au point qu'on a tendance à se l'approprier.

Pour finir, je voudrais positionner ces travaux sur le conditionnement par rapport à la prophétie de Sartre (1938). Cette prophétie (c'est moi qui l'appelle comme ça) stipule que la psychologie scientifique s'est constituée comme telle, avec la psychophysique puis avec le behaviorisme, en renonçant à l'introspection comme méthode. Le prix à payer, pour Sartre, est de renoncer à la psychologie (l'étude de la *psyché*) en se focalisant sur l'étude du comportement (animal et humain). Il semble à la lecture du livre de Haselgrove que le behaviorisme, qui était à l'époque la cible principale de Sartre, n'a pas dévié de sa trajectoire.

## Une histoire de la biologie

Jean de Salisbury, dans son *Metalogicon*, fait dire à son Maître Bernard de Chartres : « Nous sommes comme des nains assis sur des épaules de géants<sup>42</sup>. Si nous voyons plus de choses et plus lointaines qu'eux, ce n'est pas à cause de la perspicacité de notre vue, ni de notre grandeur, c'est parce que nous sommes élevés par eux » (de Salisbury, 1159). Cette formule a depuis été reprise par des savants comme Newton pour décrire l'aspect cumulatif de la science. Mais ce n'est manifestement pas l'avis de Michel Morange, Professeur de biologie moléculaire à l'UPMC, qui propose ici une histoire de sa discipline organisée chronologiquement (Morange, 2016). En effet, l'impression qui se dégage de son ouvrage est qu'il y a très peu de géants dans cette Histoire, particulièrement

37. La première chose.

38. La deuxième chose.

39. Avec quelques variantes tout de même.

40. On observe un phénomène similaire avec les adeptes de Gibson (Gibson, 1979), autre mouvement behavioriste centré sur le schéma *Stimulus-Réponse*.

41. Comme dit Rimbaud.

42. *Nani gigantum humeris insidentes*.

avant le 19<sup>e</sup> siècle. Replacant les contributions de ses lointains prédécesseurs par rapport aux connaissances actuelles, il insiste surtout sur leurs limites<sup>43</sup>. Il juge chacun selon sa contribution aux méthodes et aux connaissances scientifiques actuelles, ce qui le conduit à une sympathie et une empathie très limitées avec les démarches des anciens.

Ce bouquin résume 2500 ans d'histoire des sciences, et c'est beaucoup en 400 pages. Sa principale qualité est d'ouvrir des portes et de donner des aperçus rapides sur des sujets qui mériteraient d'être approfondis : par exemple, il m'a donné envie de lire Lucrece (1966 [1st century BC]).

Même si ce sont des théoriciens (Aristote, Lucrèce) qui sont considérés comme les pères fondateurs de la réflexion rationnelle sur le vivant, c'est la médecine qui domine les deux ou trois<sup>44</sup> premiers millénaires de la discipline<sup>45</sup>, avec par exemple Hippocrate, Gallien, Vésale ou Paracelse. C'est seulement à partir de la Renaissance, avec l'imprimerie et le développement de l'observation dans tous les domaines, que la connaissance commence à être cumulative, avec la diffusion d'histoires naturelles, le développement de l'anatomie et de l'alchimie<sup>46</sup>.

Le tournant quantitatif en science, qui se produit au XVII<sup>e</sup> siècle, touche aussi la biologie. C'est l'époque de Descartes et de Pascal en France, de Galilée en Italie, de Newton et Harvey<sup>47</sup> en Angleterre. L'invention du microscope fait de Swammerdam « le Galilée de l'infiniment petit<sup>48</sup> ». Les premières revues scientifiques sont celles des sociétés savantes qui se créent à cette époque (Royal Society en 1660, Académie des Sciences en 1666).

Le siècle des Lumières profite de tous ces développements, techniques, institutionnels, ainsi qu'au niveau des connaissances et des moyens d'observations. Deux questions essentielles de la biologie sont reformulées sur des bases plus objectives : la spécificité du vivant, et la reproduction. Le premier point est délicat, à la fois pour des raisons religieuses et parce que les mots manquent ; le vitalisme, développé notamment à Montpellier par Bordeu et Barthez, réussit à prendre acte de la spécificité du vivant sans spéculer sur sa nature, mais en se concentrant sur ses conséquences observables. Spallanzani, en mettant des caecons à des crapauds, réussit à comprendre l'essentiel de la reproduction : la fécondation des œufs de la femelle par le sperme du mâle ; parallèlement, l'étude du développement de l'embryon permet d'abandonner de vieilles questions et d'en poser des nouvelles. D'autres dossiers sont rouverts, comme la classification des espèces, avec Linné (von Linné, 1735) et Buffon, qui discute de la disparition et de l'évolution des espèces (Buffon, 1749), ou la respiration, avec Priestley et Lavoisier.

Le XIX<sup>e</sup> siècle est celui de la science positive et cumulative, débarrassée de l'essentiel de ses entraves religieuses, et avec laquelle Morange est plus dans son élément. C'est le siècle de Darwin et de la théorie cellulaire, et d'une certaine manière nous en sommes toujours là. C'est que, après des siècles de tâtonnements, les savants du XIX<sup>e</sup> siècle proposent des réponses aux principales questions de la biologie qui sont, pour l'essentiel, les bonnes — jusqu'à preuve du contraire.

La théorie des germes (les microbes vivants) est popularisée par Pasteur en France et Koch en Allemagne, à la fois sur le plan théorique et sur celui des applications médicales<sup>49</sup>. La

polémique sur la génération spontanée ne semble pas avoir d'impact direct sur la théorie cellulaire qui se développe en parallèle. Avant d'en arriver à l'idée centrale que *omnis cellula e cellula*<sup>50</sup>, il a fallu d'abord établir leur existence et surtout leur importance pour la compréhension du vivant. Sur ce dernier point, certains comme Claude Bernard sont restés méfiants vis-à-vis de ce qui pouvait apparaître à l'époque comme l'aspect réductionniste de la théorie cellulaire<sup>51</sup>. Finalement, après que Valentin, élève de Purkinje, a présenté un mémoire à l'Académie des Sciences sur la théorie cellulaire, c'est Schwann qui la popularise et l'étend aux végétaux<sup>52</sup>. Au niveau moléculaire, après les travaux de Lavoisier sur la respiration, des chimistes décrivent progressivement les composantes des tissus et des milieux vivants : le sang, le lait, les os, la graisse...

La physiologie se développe, avec notamment Magendie et surtout Claude Bernard, qui propose un programme de recherche expérimentale qui cherche dans la physiologie — l'étude du fonctionnement de l'organisme vivant — la clé de la compréhension des phénomènes biologiques (Bernard, 1865). Lui-même réalise des travaux sur la physiologie du foie, avant de théoriser sur sa propre pratique (Canguilhem, 2002 [1965], 2002 [1968]). De son côté, Broca, en découvrant une localisation de la parole dans le cortex cérébral, donne le coup d'envoi des neurosciences ; Von Helmholtz mesure la vitesse de propagation de l'influx nerveux ; il s'intéresse à différents aspects de la perception, visuelle et auditive, et inaugure ainsi la psychophysique.

Parallèlement à la biologie cellulaire et à la physiologie, le XIX<sup>e</sup> siècle reprend la discussion sur la diversité du vivant et son évolution, avec Lamarck, Saint-Hillaire et Cuvier, mais surtout avec Darwin (Darwin, 1859)<sup>53</sup>. Cette discussion est difficile, puisqu'à l'époque, il n'était pas possible à un laïc d'être Professeur d'Université en Angleterre ; Or Darwin soulève des questions qui s'accordent difficilement avec les dogmes religieux de l'Ancien Testament<sup>54</sup> ; outre les questions sur l'âge de la Terre, l'évolution des espèces et la disparition des espèces anciennes, questions déjà discutées par Lamarck et Cuvier<sup>55</sup>, l'idée que l'Homme descend du singe (Darwin,

43. Peut-être pour combattre le préjugé qui aime voir dans le passé des précurseurs, mais il y va un peu fort.

44. Si on remonte aux connaissances médicales des égyptiens.

45. Les peuples sans écritures ne sont pas mentionnés, faute de traces écrites ; si l'on en croit les anthropologues, ils ont pourtant des théories et des connaissances biologiques et médicales, mais exprimées sous une forme qui ne correspond pas à ce que Morange accepte d'appeler des connaissances scientifiques.

46. Morange insiste sur le rôle important de cette dernière pour la compréhension des propriétés de la matière, et donc à terme de la chimie.

47. Harvey a le premier décrit la circulation sanguine.

48. L'expression est de Michelet.

49. Le point de départ du travail scientifique de Pasteur a été la mise en évidence d'une spécificité du vivant : il s'est rendu compte qu'une fermentation ne produisait qu'un des isomères du tartrate.

50. Toute cellule provient d'une cellule : formule de Raspail, reprise par Virchow.

51. Pour Claude Bernard, c'est l'organisme qu'il faut expliquer, sa physiologie, pas ses aspects microscopiques, trop délicats à interpréter.

52. Sur un autre terrain, la polémique entre Golgi et Ramon y Cajal, sur le fait de savoir si les fibres nerveuses étaient continues ou discontinues, n'ont été tranchées qu'au siècle suivant. En 1906, le jury Nobel, prudent, leur a attribué le prix à tous les deux.

53. Morange fait remarquer que le modèle de sélection naturelle n'a pas une forme classique de modèle scientifique, puisque l'effet de l'environnement sur les populations n'est pas direct (avec des lois ou des mécanismes) mais indirect : il permet à chaque espèce de faire valoir ses atouts dans une situation de concurrence. Le résultat de ce processus — la sélection des plus aptes dans un milieu donné — est un phénomène émergent, pas une conséquence directe des données d'entrée du modèle.

54. On pourrait en dire autant de la Torah et du Coran, mais l'Angleterre de Darwin est essentiellement Chrétienne.

55. Les dinosaures sont décrits par le paléontologue Richard Owen, ce dont les statues du Crystal Palace Park, réalisées en 1852, gardent la trace à Londres.



1871) n'est manifestement pas dans la Genèse. Sur le terrain, l'homme de Néanderthal sera découvert en 1856, juste avant la publication de *L'origine des Espèces* (Darwin, 1859), tandis que l'homme de Cro-Magnon sera découvert aux Ezyes en 1868 et qu'Eugène Dubois décrira le Pitécanthrope, l'homme de Java, dans les années 1890.

L'hérédité est l'autre grand sujet dont les bases actuelles sont posées au XIX<sup>e</sup> siècle, non pas tant grâce aux travaux de Gregor Mendel, qui n'ont pas eu d'écho à l'époque, qu'avec Weismann, qui s'intéresse aux aspects cellulaires des mécanismes de l'hérédité et nie toute transmission des caractères acquis, et surtout de Vries, qui propose que les mutations sont à l'origine de la diversité des caractères.

Le XX<sup>e</sup> siècle, en biologie, se termine aux alentours de 1980, avec l'essor de la biologie moléculaire et le développement des moyens d'observations (GFP, séquençage du génome) et des manipulations génétiques. La grande affaire de ce premier XX<sup>e</sup> siècle, entre 1900 et 1980, c'est la naissance de la biologie moléculaire, avec de manière emblématique la découverte de la structure de l'ADN par Watson & Crick (1953), et plus profondément la compréhension au niveau moléculaire du métabolisme et de la reproduction cellulaire. D'une certaine manière, cette période voit le triomphe de la biochimie qui a permis de comprendre de plus en plus finement les composantes de la machine cellulaire : chromosomes, ADN, ARN, mitochondries, et donc de lancer la génétique sur de bonnes bases chimiques.

Ces succès de la biochimie sont liés aux techniques développées pour observer, extraire, purifier et conserver des composants chimiques de la matière vivante<sup>56</sup>, que ce soit des levures ou des cellules musculaires. Par exemple, Meyerhof décrit la dégradation de glycogène en acide lactique pendant l'effort musculaire, puis sa régénération par oxydation ; Krebs décrit le cycle du métabolisme cellulaire qui porte son nom<sup>57</sup>. De nombreuses voies métaboliques sont ainsi décrites, clarifiant petit à petit le rôle des protéines, des glucides, des lipides, des vitamines et des enzymes. L'exploration des agents chimiques participants aux mécanismes physiologiques conduit également les chercheurs vers les hormones, comme l'insuline, et les neuromédiateurs, comme l'adrénaline.

Parallèlement à ces succès, le fonctionnement du système immunitaire adaptatif est décrit à partir des travaux d'Ilya Mentchikov sur la phagocytose et de Paul Ehrlich sur les la réponse immunitaire<sup>58</sup>. Les virus sont identifiés au début du siècle<sup>59</sup> : non seulement ils sont minuscules (par rapport aux pathogènes habituels), mais ils ne se reproduisent pas en culture. Toutes ces avancées conduisent à des progrès spectaculaires en médecine, avec le développement de nombreuses classes de médicaments, comme les antibiotiques<sup>60</sup> et la chimiothérapie<sup>61</sup> : Ehrlich cherchait des « balles magiques » capables de se lier à des pathogènes (comme peuvent le faire des colorants) et à les détruire sans intoxiquer le patient<sup>62</sup>.

Depuis les travaux de de Vries, les généticiens ont une théorie de l'hérédité qui fonctionne bien, même si son support matériel ne sera identifié de manière robuste que dans les années 1950 ; en attendant, des savants comme Morgan (qui met les drosophiles à la mode) précisent différents aspects de l'hérédité Mendélienne, étudient les mutations et construisent des cartes génétiques. L'ADN est identifié dans les années 1950 comme le support matériel des gènes, dont on comprend alors le rôle dans la synthèse des protéines. En 1961, Jacob et

Monot proposent une séparation entre gènes codant pour des protéines et gènes régulateurs.

En comparaison, les progrès enregistrés dans les approches centrées sur l'organisme et sur son milieu font moins de bruit. On assiste pourtant à la naissance de l'écologie scientifique, c'est-à-dire l'étude du système complexe que forment les différents acteurs d'un milieu de vie (Debourdeau, 2013), et de l'éthologie, qui étudie le vivant dans son milieu (avec notamment Karl von Frisch et ses abeilles, Konrad Lorenz et ses oies). La psychologie scientifique qui était née avec la psychophysique à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle se développe avec le behaviorisme, puis les sciences cognitives.

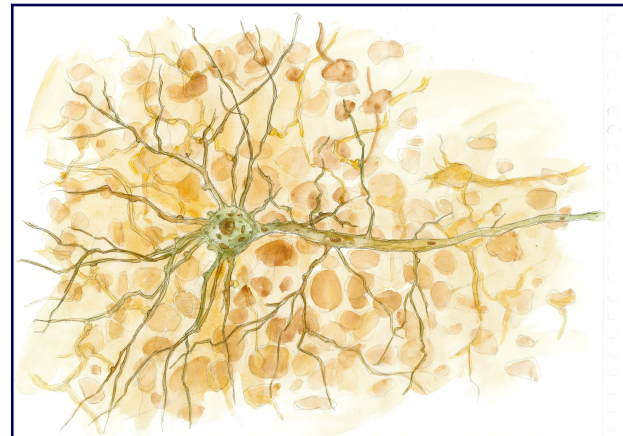


FIGURE 12. Sur Terre, tous les êtres vivants sont faits de cellules ; non seulement les cellules ont toutes la même origine et partagent des mécanismes communs de la bactérie à l'homme (comme le codage de l'information génétique dans l'ADN), mais toutes les cellules d'un même organisme, du neurone à l'os, partagent le même ADN (ici, un neurone).

A partir des années 1980, on rentre d'une certaine manière dans l'histoire du temps présent (puisque c'est la période d'activité scientifique de Morange) et il est plus difficile d'avoir du recul. Les progrès technologiques ont permis des avancées rapides, en particulier concernant l'observation *in vitro* et *in vivo*<sup>63</sup> et les manipulations moléculaires (le génie génétique, avec les ajouts et délétions de gènes, et l'optogénétique, c'est-à-dire l'activation par la lumière de gènes spécifiques *in vivo*). C'est ce qui fait de la biologie moléculaire<sup>64</sup> le champ le plus dynamique de notre époque<sup>65</sup>. Les biotechnologies sont deve-

56. En particulier l'électrophorèse, la diffraction aux rayons X et la chromatographie. Morange insiste tout au long de son livre sur le fait que des découvertes deviennent ensuite des outils pour faire de nouvelles découvertes ; c'est vrai de l'optique au XVI<sup>e</sup> siècle à la génétique au XX<sup>e</sup>.

57. Le cycle de Krebs est commun à toutes les cellules aérobies ; il permet la formation d'ATP puis leur dégradation en ADP. Pour nous les eucaryotes, il se déroule dans les mitochondries.

58. Ils seront conjointement lauréats du prix Nobel en 1908.

59. La grippe espagnole (H<sub>1</sub>N<sub>1</sub>) a fait au moins 50 millions de victimes en 1918.

60. la pénicilline est découverte par Flemming en 1928.

61. Au départ la chimiothérapie ne vise pas spécifiquement le cancer, elle désigne toutes les molécules chimiques ayant un bénéfice médical.

62. L'ère industrielle des médicaments voit le développement de nouveaux acteurs qui sont, pour certains, toujours là, comme Hoechst et Bayer.

63. Avec notamment la protéine de méduse GFP, fluorescente, utilisée pour marquer les cellules en génie génétique.

64. En 2015, le facteur d'impact de la revue *Nature Reviews Molecular Cell Biology* est supérieur à celui de *Nature*.

65. Sans compter que les laboratoires de biologie sont maintenant en grande partie *in silico*, avec l'arrivée de bio-mathématiciens capables de traiter les données massives produites par les nouveaux moyens d'observation.

nues une industrie<sup>66</sup>, comme le médicament un siècle plus tôt.

De nombreuses voies de signalisation et mécanismes cellulaires sont maintenant compris, et la nouvelle frontière est la compréhension du fonctionnement de l'organisme (la physiologie) sur des bases moléculaires<sup>67</sup>. On ne peut pas lister l'ensemble des domaines qui ont explosé ces dernières années, mais il faut au moins en mentionner trois : le cancer<sup>68</sup>, l'immunologie<sup>69</sup> et les neurosciences<sup>70</sup>. Sur le plan des mécanismes biochimiques, il faut ajouter que la biologie structurale a également beaucoup profité des progrès des techniques d'observation, ce qui a conduit à une bien meilleure compréhension des aspects tri-dimensionnels des réactions biochimiques. Les applications de ces découvertes en biologie moléculaire au domaine de la santé suscitent des espoirs et de nombreuses recherches<sup>71</sup>.

Le séquençage de l'ADN humain est arrivé aujourd'hui à un coût de l'ordre de 1000 euros, alors que le premier séquençage date de 1995 pour une bactérie, et de 2001 pour *homo sapiens*, à tel point que la médecine dite « personnalisée<sup>72</sup> » devient envisageable à moyen terme. C'est déjà, que ce soit sur des modèles animaux<sup>73</sup> ou sur des patients, un outils de recherche utilisé de manière intensive.

Par rapport à ces avancées, les disciplines historiques (la théorie de l'évolution) et environnementales (écologie, éthologie) ont également fait parler d'elles, mais surtout grâce à des approches moléculaires, comme lors du séquençage du génome des hommes de Néanderthal et de Dmanisi, ou avec l'approche *évo-dévo*, qui cherche à expliquer l'évolution des espèces en lien avec l'évolution des réseaux de gènes<sup>74</sup>. Toutefois, des enjeux importants ont aussi été identifiés à un niveau global, ce que manifeste l'émergence du terme d'anthropocène et la naissance de l'écologie politique<sup>75</sup>. L'évolution actuelle de la Terre n'est pas seulement climatique mais peut aussi se décrire en termes de disparition massive d'espèces et de perte de diversité biologique, et en termes de destruction (ou de transformation) des écosystèmes — avec, notamment, la disparition progressive des forêts tropicales.

## Références

Bachelard, G. (1927). *Etude sur l'évolution d'un problème de physique : la propagation thermique dans les solides*. Thèse complémentaire.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.

Bachelard, G. (1949). *La psychanalyse du feu*. Paris : Gallimard.

Balzac, H. d. (1835). *Le père Goriot*. Paris : E. Werdet.

Baudelaire, C. (1863). *Le peintre de la vie moderne*. Le Figaro.

Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Baillière et fils.

Biewener, A. (2003). *Animal locomotion*. Oxford University Press.

Bourdieu, P. (1976). Le champ scientifique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 2(2), 88-104.

Bourdieu, P. (2001). *Science de la science et réflexivité*. Raisons d'Agir.

Bourdieu, P. (2013). *Manet, une révolution symbolique*. Seuil.

Brémont, R. (2012). Biologie, transport, complexité. *Recherche, Transport, Sécurité*, 28(3), 248-255.

Buffon. (1749). *Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du cabinet du Roi*. Paris : Imprimerie Royale.

Canguilhem, G. (1965). Le vivant et son milieu. In *La connaissance de la vie* (p. 129-154). Vrin.

Canguilhem, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.

Canguilhem, G. (2002). *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1958]). La philosophie biologique d'Auguste Comte et son influence en France au XIXe siècle. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 61-74). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1959]). Les concepts de lutte pour l'existence et de sélection naturelle en 1858 : Charles Darwin et Alfred Russel Wallace. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 99-111). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1960]). L'homme et l'animal du point de vue psychologique selon Charles Darwin. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 112-125). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1963]a). Dialectique et philosophie du Non chez Gaston Bachelard. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 196-207). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1963]b). Gaston Bachelard et les philosophes. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 187-195). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1963]c). L'histoire des sciences dans l'œuvre épistémologique de Gaston Bachelard. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 173-186). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1964]a). Galilée : la signification de l'œuvre et la leçon de l'homme. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 37-50). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1964]b). Histoire des religions et histoire des sciences dans la théorie du fétichisme chez Auguste Comte. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 81-98). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1964]c). L'homme de Vesale dans le monde de Copernic. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 27-35). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1965]). L'idée de médecine expérimentale selon Claude Bernard. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 127-142). Vrin.

Canguilhem, G. (2002 [1966]). L'objet de l'histoire des sciences. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 9-23). Vrin.

66. En 2015, le facteur d'impact de la revue *Nature Biotechnology* est supérieur à celui de *Nature*.

67. Notamment avec la biologie des systèmes, *system biology* (Brémont, 2012).

68. En 2015, le facteur d'impact de la revue *Cancer A* est supérieur à celui de *Nature*.

69. En 2015, le facteur d'impact de la revue *Nature Reviews Immunology* est supérieur à celui de *Nature*.

70. Contrairement à Auguste Comte, Morange n'inclut pas la psychologie ni les sciences sociales dans le périmètre de la biologie.

71. En 2015, les facteurs d'impact du *NEJM*, du *Lancet* et de *Nature Reviews Drug Discovery* sont supérieurs à celui de *Nature*.

72. C'est à dire tenant compte des paramètres individuels pour définir les traitements ou la prévention, par exemple dans le cancer.

73. Les souris « sauvages », *wild type*, se démocratisent en même temps que le génie génétique se développe.

74. Avec un focus sur les gènes actifs au cours du développement

75. Le commandant Jacques-Yves Cousteau commence ses voyages océanographiques sur la Calypso en 1951, mais la *Cousteau Society* date de 1973.

- Canguilhem, G. (2002 [1968]). Théorie et technique de l'expérimentation chez Claude Bernard. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (p. 143-155). Vrin.
- Chevreul, M.-E. (1856). *Lettres à M. Villemain sur la méthode en général et sur la définition du mot « fait »*. Paris : Garnier Frères.
- CIE. (1932). Proceedings of the 8th session of the CIE (1931). In *Commission internationale de l'éclairage*. Cambridge : Cambridge University Press.
- CIE. (2006). *Fundamental chromaticity diagram with physiological axes, Part 1* (Rapport technique). Vienna : CIE 170-1.
- CIE. (2015). *Fundamental chromaticity diagram with physiological axes, Part 2 : Spectral luminous efficiency functions and chromaticity diagrams* (Rapport technique). Vienna : CIE 170-2.
- Cohen, M. D., March, J. G., & Olsen, J. P. (1972). A garbage can model of organization choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1-25.
- Comte, A. (1907). *Cours de philosophie positive, vol. IV*. Paris : Schleicher.
- Darwin, C. (1839). *The voyage of the Beagle*. London : Henry Colburn.
- Darwin, C. (1859). *On the origine of species by means of natural selection*. London : John Murray.
- Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex*. London : John Murray.
- Darwin, C. (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. London : John Murray.
- de Balzac, H. (1833). *Théorie de la démarche*. Paris : L'Europe Littéraire.
- Debourdeau, A. (2013). *Les grands textes fondateurs de l'écologie*. Flammarion, Champs.
- de Salisbury, J. (1159). *Metalogicon*. Chartres.
- Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode pour bien conduire la raison & chercher la vérité dans les sciences, plus la dioptrique, les météores et la géométrie, qui sont des essais de cette méthode*. Leyde : Jan Maire.
- Descartes, R. (1649). Des actions des yeux et du visage. In *Les passions de l'âme* (Vol. 113). Henry le Gras, Paris.
- Diderot, D. (1849). *Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient*. Londres.
- Dupuy, F. (2005). *La fatigue des élites. Le capitalisme et ses cadres*. La République des idées, Seuil.
- Dupuy, F. (2011). *Lost in management*. Seuil, Points Essais.
- Dupuy, F. (2015). *La faillite de la pensée managériale. Lost in management 2*. Seuil, Points Essais.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA : Houghton Mifflin.
- Haselgrove, M. (2016). *Learning : a very short introduction*. Oxford University Press.
- Hugo, V. (1830). *Hernani*. Mame et Delaunay.
- Hugo, V. (1831). *Notre Dame de Paris*. Gosselin.
- Itti, L., & Baldi, P. (2009). Bayesian surprise attracts human attention. *Vision Research*, 49, 1295-1306.
- Kahneman, D. (2002). Maps of bounded rationality : a perspective on intuitive judgement and choice. *Nobel Lecture*.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436-444.
- Lestel, D. (2001). *Les origines animales de la culture*. Flammarion, Champs.
- Lucrece. (1966 [1st century BC]). *De rerum natura*. Paris : Les Belles Lettres.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard.
- Merleau-Ponty, M. (1960). *L'œil et l'esprit*. Folio Gallimard.
- Montaigne, M. d. (1595). Apologie de Raymond de Sebonde. *Les Essais, II*(XII).
- Morange, M. (2016). *Une histoire de la biologie*. Points Sciences, Le Seuil.
- Poe, E. (1840). *The man of the crowd*. Burton's Gentlemen's Magazine.
- Rabelais, F. (1552). *Le quart livre*. Paris : Michel Fezandar.
- Reif, F. (1961). The competitive world of the pure scientist. *Science*, 134(3494), 1957-1962.
- Rousseau, J.-J. (1755). *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes*. République de Genève : Marc-Michel Rey.
- Sartre, J.-P. (1938). *Esquisse d'une théorie des émotions*. Paris : Hermann.
- Stendhal. (1830). *Le rouge et le noir*. Levasseur.
- Viénot, F. (2016). Cone fundamentals : A model for the future of colorimetry. *Lighting Research and Technology*, 48, 5-13.
- von Linné, C. (1735). *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Leyde : de Groot.
- von Uexküll, J. (1956). *Milieu animal et milieu humain*. Payot, Bibliothèque Rivages (trad. C. Martin-Fréville, 2010).
- Watson, J. D., & Crick, F. (1953). Molecular structure of nucleic acids : A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737-738.
- Zinoviev, A. (1976). *Les hauteurs béantes*. L'âge d'Homme.

**Table des matières**

**Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient** 1

**Théorie de la démarche** 2

**Milieu animal et milieu humain** 2

**L'œil et l'esprit** 3

**A Garbage Can model of Organizational Choice** 4

**Le champ scientifique** 4

**Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie** 4

**Animal locomotion** 6

**La faillite de la pensée managériale** 7

**Cone fundamentals : A model for the future of colorimetry** 8

**Learning : a very short introduction** 9

**Une histoire de la biologie** 9