

Les modes de conceptualisation des unités d'hérédité au XIX^e siècle : Spencer, Haeckel et Elsberg

Sylvie Vandaele & Marie-Claude Béland

Université de Montréal

Ever since the end of the 19th century, the biological sciences have been preoccupied with the elucidation of the complex mechanisms underlying heredity. They were faced with a fundamental problem: how does a given phenotypic trait (e.g., skin or fur color) correspond to a physical entity, more often than not putative, responsible for its transmission from one generation to the next. The discovery and subsequent characterization of the unit of inheritance (unité d'hérédité) is thus the central focus of research on heredity in many fields, namely genetics, population genetics, molecular biology, and, more recently, genomics. What we now call gene since Johanssen coined the term, however, has a long and troubled past characterized by various successive conceptualizations. These have left sometimes confusing and even contradictory features in modern scientific discourse, of which we intend to understand the origins. The present article aims to examine the different embodiments of the concept unit of inheritance in the works of two key 19th century authors: Spencer and Haeckel. Elsberg, a rival of Haeckel, will also be considered. Using an analysis of indices of conceptualization in discourse, we show the various metaphorical conceptualization modes active in their respective theories and examine how they manifest themselves in English and in French.

1. Introduction

La génétique et ses cousines, de la biologie moléculaire à la génomique, tiennent une place prépondérante non seulement dans les sciences biomédicales fondamentales, mais aussi dans le grand public et dans les relations entre patients et professionnels de la santé, et ceci depuis déjà un certain nombre d'années (voir par exemple Kahn, 1996 ; Le Douarin et Puigelier, 2007 ; Parker, 2012). Les discours relatifs aux maladies génétiques, à la procréation assistée ou aux thérapies géniques ne se limitent pas à la communication entre spécialistes au sein d'articles savants ou dans le cadre de conférences, ils ont envahi également la sphère publique (médias, internet), notamment en raison des questions éthiques, philosophiques, voire spirituelles ou religieuses, que ces sujets soulèvent. Resurgissent souvent des débats mettant en jeu le darwinisme, débats assez souvent malsains dans la mesure où ils se veulent sensationnalistes car fondés sur des perceptions erronées qui remontent à des contemporains mêmes de Darwin (voir par exemple Tort, 2000). De plus, comme le souligne Hedgecoe (2000), la vision de la génétique présentée au public est souvent simpliste et elle évacue les analyses sociales complexes. Ce

processus de simplification outrancière, nommé en anglais *geneticization* par différents auteurs critiques de cet état de fait (Abby Lippman, Hubbard et Wald ; cités dans Hedgcock, 2000, p. 183) est d'autant plus regrettable que le fonctionnement du génome se révèle, en fin de compte, bien plus plastique que prévu (Séralini, 2005) et qu'il serait loin d'être déterministe comme on le présente souvent (Kupiec et Sonigo, 2003).

Or, maintenant que le traducteur autant que l'interprète sont confrontés à leur « invisibilité » et, conséquemment, invités à agir comme médiateur actif au sein du processus de communication (Angelleli, 2004; Venuti, 1995), il leur est impossible d'ignorer ces difficultés, d'autant que dans les contextes où ils doivent intervenir, ils auront à tenir compte de différences culturelles, idéologiques, voire religieuses, interférant profondément avec les décisions que les patients ou les soignants auront à prendre. Les enjeux économiques et juridiques liés à la brevetabilité des gènes (Cassier et Stoppa-Lyonnet, 2012) et à la commercialisation parfois discutable de tests génétiques (Jordan, 2012) forment des lieux de controverse dans lesquels les langagiers impliqués doivent faire preuve de prudence autant que de compétences.

Les imprécisions langagières et conceptuelles qui affectent la communication se trouvent au cœur de ce qui peut sembler parfaitement familier. Ainsi, le mot *gène* (*gene* en anglais, *Gen* en allemand) est bien connu, mais le fait que la notion sous-jacente soit encore source de controverse chez les chercheurs (Chevassus-au-Louis, 2001 ; Gerstein, 2007 ; Pichot, 1999) l'est beaucoup moins. Par ailleurs, certaines formulations, comme *le gène de telle maladie* (par exemple, de la mucoviscidose, du cancer), ou *le gène de tel comportement* (de l'alcoolisme, de la violence, de l'homosexualité, etc.), si elles semblent courantes et donc admises, sont discutables : aucune maladie n'est, à proprement parler, encodée génétiquement. Ce qui est transmis, c'est la *défectuosité* d'un gène, qui n'est plus « décodé » correctement par la cellule, laquelle produit une (ou plusieurs) protéine(s) imparfaite(s), ou n'en produit même plus. Le dysfonctionnement qui en résulte entraîne un état pathologique, mais dans bien des cas, le rôle d'un gène putatif reste impossible à cerner (le cas du « gène de l'autisme », Gilgenkranz, 2012) et les interactions complexes entre génome et environnement (l'épigénétique) brouillent les cartes, tout particulièrement dans le cas des comportements.

On peut avancer sans trop de craintes de se tromper que nombre de formulations entérinées par l'usage mais obsolètes ou peu transparentes rendent la communication touchant à la génétique et à l'hérédité souvent biaisée à la base. Le problème dépasse de loin une simple question de terminologie ou de phraséologie examinées en synchronie. Or, les enjeux sociétaux, sinon philosophiques, sont énormes. Il se trouve que le gène est le fruit d'une longue histoire ponctuée par les avancées technologiques qui permettent d'en préciser la nature et par une succession de constructions théoriques qui ne manquent jamais de mobiliser non seulement la science,

mais aussi la philosophie et des idéologies contradictoires. Par conséquent, il nous semble important de remonter le temps et l'évolution de la pensée scientifique pour mieux comprendre comment le discours moderne se construit en empruntant aux théories qui se sont succédé, et comment les métaphores qui les ont nourries s'agencent, pour le meilleur et pour le pire.

2. Contextualisation historique

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les théories qui tentent d'expliquer les ressemblances entre générations sont fort peu corrélées à l'expérimentation. C'est, selon Rostand (1942), la période pré-expérimentale, durant laquelle prévaut la recherche de la synthèse de nombreuses données d'observations. Parmi les figures marquantes de cette fin du XIX^e siècle, on relève Spencer, Darwin, Galton, Haeckel et Elsberg. Weissman clot cette période en réfutant de manière définitive la pangenèse de Darwin, avant la reconnaissance par De Vries, en 1900, des travaux de Mendel (1865).

À partir de ce moment, et avec la création de l'acception moderne de *genetics*, par Bateson qui nomme ainsi la toute nouvelle science de l'hérédité (Bateson 1905 ; le mot est attesté avant, au moins en 1872, par l'Oxford English Dictionary, avec le sens de « principe or laws of generation ») et du mot *Gen* par Johannsen en 1909 à partir de *Pangen*, utilisé par De Vries (1889 ; terme sans rapport avec la pangenèse de Darwin), le coup d'envoi à la génétique moderne est donné. Comme le souligne Gayon (2004, p. 250), à partir de Johannsen, le gène est entendu comme une unité de calcul et de fonction (au sens de la combinatoire mendélienne) et non plus comme une particule ou une unité morphologique – ce qui est plutôt la problématique du XIX^e siècle. Mais même avec la progression des techniques et les avancées expérimentales qui en découlent au XX^e siècle, les modélisations successives de la biologie se sont construites, par nécessité, sur des raisonnements tenus à partir de données, certes maintenant expérimentales, mais néanmoins indirectes (personne n'a jamais observé directement un gène « en action », malgré ce que laissent croire les magnifiques animations en trois dimensions sur YouTube...) et sur des conceptualisations métaphoriques successives qui se sont surajoutées les unes aux autres (Fox-Keller, 2002, 2003 ; Vandaele, 2009). Mais un peu à la manière des couches rocheuses témoignant de la succession des périodes géologiques, les théorisations et leurs métaphorisations laissent des traces dans le discours jusqu'à nos jours. Pour comprendre les problématiques notionnelles et discursives actuelles qui affectent profondément et de façon occulte la communication biomédicale dans ses différents contextes, il nous faut donc examiner, de manière diachronique, comment les notions de gène et d'hérédité, ainsi que les discours s'y rapportant, se sont construites. Notre hypothèse de travail est que certaines métaphores, bien implantées dans le discours, sont dépassées

ou menacent de l'être, mais qu'elles continuent d'être employées soit naïvement, soit à des fins rhétoriques qu'il importe de repérer.

Ainsi, bien que l'humain s'interroge depuis l'Antiquité sur les causes de la ressemblance entre humains de générations successives, c'est au XIX^e siècle que se prépare la « révolution scientifique » (Kuhn, 1962) du début du XX^e siècle qui va fonder la conception moderne de l'hérédité. La transmission des caractéristiques des êtres vivants, les *traits* ou *caractères*, dont l'ensemble, pour un organisme donné, constitue le *phénotype*, sont l'une des préoccupations majeures des scientifiques de l'époque (pour des synthèses sur la question, voir par exemple Pichot, 1999 ; Heams et coll., 2011). La manière dont s'opère la correspondance entre un trait (la couleur de la peau ou du pelage, par exemple) et des entités biologiques hypothétiques, transmissibles de génération en génération, est au cœur des réflexions. Ceci rejoignait une autre des questions les plus saillantes, à savoir identifier et caractériser les particules constitutives de la matière vivante (Pichot, 1993).

Au centre des recherches portant sur l'hérédité, la génétique des individus et des populations, puis à partir du milieu du XX^e siècle, de la biologie moléculaire et, plus récemment, de la génomique, se trouve ainsi la caractérisation de l'*unité d'hérédité* (*unit of inheritance*). Ce couple d'équivalents passe du XIX^e siècle au XXI^e siècle sans qu'il ne paraisse jamais être rattaché à aucune théorie spécifique, ce qui lui confère un statut fortement générique (voir par exemple, Vignais et Vignais, 2006, p. 405). C'est donc à dessein que nous utiliserons ce terme et que nous abandonnerons, dans la suite de l'article, celui de *gène*, puisque nous nous intéresserons à la période qui précède l'apparition de ce dernier.

Les multiples avatars de l'unité d'hérédité ont fait l'objet de nombreux écrits analytiques et critiques qui en soulignent les similitudes et les différences et qui les situent dans le contexte scientifique de leurs époques de création et d'emploi respectives. Mais si un certain nombre d'auteurs se sont intéressés aux métaphores en sciences, et plus particulièrement de la génétique ou de la théorie de l'évolution (par exemple Pramling, 2008 ; Ruse, 2000), ce qui est presque toujours laissé dans l'ombre, c'est la manière dont ces notions ont été ou sont encore conceptualisées métaphoriquement *via* le discours.

Notre étude se situe dans un projet plus vaste embrassant des auteurs marquants du XIX^e au XXI^e siècle. Le sujet est d'une telle ampleur – ainsi qu'en témoignent les nombreux écrits et synthèses, comme celles de Pichot (1999), et l'imposant *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution* dirigé par Patrick Tort (1996) – que nous nous devons de restreindre notre propos dans le présent article. Nous nous concentrerons sur la manière dont la *notion* d'unité d'hérédité est nommée, décrite et *conceptualisée* chez trois auteurs de la fin du XIX^e siècle, c'est-à-dire de la période pré-expérimentale évoquée plus haut : Spencer (*l'unité physiologique*), ainsi que Elsberg et Haeckel (les *plastides* et les *plastidules*).

Pourquoi ces auteurs ? Contemporains de Darwin (1809–1882), mais un peu plus jeunes, Herbert Spencer (1820–1903) et Ernst Haeckel (1834–1919) comptent parmi les penseurs qui ont le plus contribué à étendre le darwinisme à l'intérieur et hors du champ scientifique – même au prix de certaines déformations réfutées par Darwin lui-même. L'un est anglais, l'autre, allemand, ils représentent les deux pays scientifiquement dominants, du moins dans ce domaine, de l'époque. Louis Elsberg (1836–1885), lui, est américain. Beaucoup moins connu – il n'a même pas d'entrée qui lui soit consacrée dans le *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution* (Tort, 1996) – ses écrits manifestent cependant une concurrence sans merci avec Haeckel au sujet des unités d'hérédité. On peut penser qu'il est l'un des représentants de l'émergence de la science nord-américaine sur l'échiquier mondial, laquelle deviendra prédominante au cours du XX^e siècle, tandis que celle de l'Europe va décliner en raison des deux guerres mondiales dévastatrices.

3. Les modes de conceptualisation scientifique

Avant de poursuivre, revenons sur *notion* et *conceptualisation*, car la posture que nous adoptons conditionne la suite. C'est à dessein que nous les distinguons. Nous préférons *notion* à *concept* pour exprimer le contenu encyclopédique auquel un terme renvoie, ce que nous appelons également *signification notionnelle* (par opposition à la signification lexicale ; voir Vandaele et Raffo, 2008a). La *conceptualisation* – le plus souvent *métaphorique* – renvoie aux projections opérées depuis des cadres conceptuels sources sur un cadre cible (une notion) (Lakoff, 1980/2003, 1993), ce qui peut s'exprimer également par le biais des *représentations factives* et *fictives* de Talmy (2000). Depuis quelques années, nous nous attachons à la caractérisation des modes de conceptualisation métaphorique dans les sciences biologiques (voir, pour une synthèse, Vandaele, 2009 ; voir par exemple, pour les métaphores en sciences, Boyd, 1993 ; Fox-Keller, 2003 ; Kuhn, 1993). Nous avons montré, dans notre équipe, que ces modes de conceptualisation sont véhiculés par des *indices de conceptualisation* (IC) selon deux mécanismes. Le premier est un mécanisme de projection opérant via les actants d'IC prédictifs (Vandaele et Lubin, 2005) : ainsi, dans *l'artère court le long du muscle*, l'artère est soumise à une représentation fictive de mouvement à cause de l'IC verbal représenté par le verbe *courir* (Lubin, 2006). Le second est un mécanisme d'analogie de traits chez les IC non prédictifs : les structures musculaires dites *piliers du cœur* sont ainsi nommées par analogie de traits avec des piliers en architecture (Labelle, 2009). Le premier mécanisme ne peut fonctionner qu'en discours, tandis que le deuxième est plutôt le fait de dénominations ou de désignations et fonctionne donc également hors

discours. Nous avons par ailleurs montré que les IC formaient des *réseaux lexicaux* qui rendent compte de la puissance, en quantité (densité) et en qualité (variété), des conceptualisations métaphoriques (Vandaele et coll., 2006).

Examiner la conceptualisation métaphorique à partir des marques laissées dans le discours permet d'éclairer d'un jour nouveau les problématiques soulevées quant au contenu notionnel *per se*. Les conceptualisations métaphoriques, une fois intégrées sur le plan cognitif et participant à l'*intersubjectivité partagée*, opèrent certes en arrière-plan, mais en sont d'autant plus puissantes. Elles constituent un problème essentiel non seulement de la traduction scientifique, mais aussi de la pédagogie et de la vulgarisation (Vandaele et Raffo, 2008b). En traduction, les modes de conceptualisation métaphoriques véhiculés par des IC prédicatifs sont particulièrement importants pour l'idiomaticité de la *phraséologie* et constituent une difficulté bien plus importante que la terminologie (voir, par exemple dans Vandaele, 2005 et Vandaele et coll., 2006, le cas de la conceptualisation des molécules biologiques et des cellules).

Nous nous efforcerons donc, dans le présent travail, de cerner les modes de conceptualisation relatifs aux unités d'hérédité tels qu'ils manifestent, sous l'une ou l'autre forme, chez les auteurs retenus, et nous commencerons par présenter la méthodologie adoptée. Nous exposerons le contenu des notions retenues et la terminologie correspondante, en relation avec le corpus étudié. Ce faisant, nous situerons les théories de chacun des auteurs. Nous présenterons les résultats de l'analyse des modes de conceptualisations métaphoriques correspondant à ces notions. Enfin, le recours aux bitextes, lorsque cela était possible, a permis d'appréhender la problématique reliée à la traduction de ces textes certes scientifiques, mais dont l'aspect spéculatif ne doit pas être négligé, et qui posent donc des problèmes bien particuliers.

4. Méthodologie

Nous avons recherché les termes renvoyant à la notion générique d'unité d'hérédité chez les auteurs marquants à partir du XIX^e siècle – étant entendu que cette notion prend différentes formes et différents noms selon les auteurs jusqu'à ce que le terme *gène* (*gene*, ou *Gen*) s'impose définitivement (Vandaele, à venir). Nous nous sommes, pour cela, appuyées notamment sur Rostand (1949), Pichot (1993, 1999), Tort (1996, 2000), Vignais et Vignais (2006) ainsi que sur Loison (2008). Nous avons ensuite sélectionné les principaux auteurs de langues anglaise (A) ou française (F), avec les traductions éventuelles, ainsi que ceux de langue allemande dont les textes traduits étaient accessibles en anglais ou en français. Nous avons laissé de côté les auteurs mineurs tels que Béchamp, Beale ou Foster, ainsi que, malheureusement, les nombreux auteurs de langue allemande pour lesquels

nous ne disposons pas de traduction (Brucke, Jäger, Nägeli, De Vries, Altmann, Hertwig, Wiesner, Haacke, Verworn), pour retenir Spencer, Darwin, Galton, Elsberg, ainsi que Haeckel et Weismann. Comme nous l'avons annoncé plus haut, nous présentons ici les résultats de l'analyse des textes de Spencer, Elsberg et Haeckel.

Les textes ont été préparés pour l'annotation grâce au logiciel Oxygen (v. 11 et 12) en format XML. Il a donc fallu, au préalable, les convertir en format .txt et, dans certains cas, avoir recours à un logiciel de reconnaissance de caractères (ReadIris Pro, v. 11). Les éléments de balisage XML contenaient différents attributs nécessaires à la caractérisation des indices de conceptualisation et de leurs actants. Nous avons également repéré les analogies et les comparaisons introduites comme telles par certains auteurs. L'extraction des données a été réalisée à l'aide de requêtes rédigées en langage Xquery (Vandaele et Boudreau, 2006).

5. Les unités d'hérédité

5.1. Les théories pré-expérimentales de l'hérédité en bref

Le questionnement autour de l'hérédité et donc de la variation ou de la fixité des espèces n'a certes pas commencé avec Darwin. Depuis Hippocrate et Démocrite, il est possible de retracer des dizaines de théories (Zirkle, 1946). Les principales positions pré-darwiniennes peuvent se résumer ainsi : la théologie de la nature, prévalente dans l'Angleterre victorienne, de type créationniste, représentée par Paley (1804), qui fut au rang des auteurs que le jeune Darwin se devait de maîtriser durant ses études (voir Tort, 1996, p. 3336) ; le fixisme, représenté par Cuvier (1825), en France ; sa théorie rivale, le transformisme, représentée tout d'abord par Lamarck (1809), puis par les différents auteurs, dont Darwin bien entendu, qui acceptèrent le concept de l'évolution des espèces et qui finit par s'imposer comme seule position scientifiquement valable.

Ce qui distingue les lamarckiens est leur adhésion à une hérédité dite *organiciste*, globale, c'est-à-dire relevant du monisme (Loison, 2008), contrairement aux autres, qui admettaient une hérédité dite *micromériste* (Delage, 1903), c'est-à-dire liée à l'existence de particules. Cette idée remonte à l'Antiquité (Rostand, 1949 ; Zirkle, 1946), mais elle émerge sérieusement, avec Maupertuis (1745), puis Buffon (1749) – lequel s'oppose violemment aux théologies de la nature. Ce dernier courant se fixe pour objectif de découvrir le support physique de l'hérédité et, partant, d'expliquer le mécanisme de l'évolution des espèces. De 1861 à 1909, une vingtaine d'auteurs de nationalités diverses, essentiellement de langue allemande (11) ou anglaise (6 ; seulement 2 Français), tentent de se distinguer en proposant des théories et des néologismes distincts, cherchant

à nommer et à décrire la particule support de l'hérédité : parmi eux, Spencer, Haeckel et Elsberg (tableau 1).

Tableau 1 : Les termes dénotant les unités d'hérédité chez Spencer, Haeckel et Elsberg

Auteur introduisant le terme	Année de référence	Terme allemand anglais français
Herbert Spencer (1820–1903) Philosophe et sociologue anglais.	1864	<i>physiologischen Einheiten</i> ° <i>physiological units</i> <i>unités physiologiques</i>
Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834–1919) Biologiste et philosophe allemand	1873	° <i>Plastiden</i> <i>plastids</i> <i>plastides (molécules vitales)</i>
Louis Elsberg (1836–1885) Médecin américain	1874	<i>Plastidulen</i> ° <i>plastidules</i> <i>plastidules</i>
° Symbole repérant le néologisme véritable, les autres termes étant la traduction dans les autres langues.		

5.2. Spencer : les unités physiologiques (*physiological units*)

Spencer, célèbre pour son expression *survival of the fittest* (*survivance du plus apte* ; Tort, 1996, p. 4173), est un ardent défenseur du principe d'évolution, mais nombre de ses idées concernant l'extension du darwinisme hors du champ de la biologie, notamment le « darwinisme social », sont souvent attribuées faussement à Darwin (Tort, 2000, pp. 131–132). Le premier tome de *Principles of Biology* (1864), écrit après la parution de la première version de *On the Origin of Species* (1859) de Darwin, s'attache à expliquer les fondements chimiques et physiques de la vie, de l'hérédité et de l'évolution. Darwin reprendra l'expression dans la 5^e édition de *On the Origin of Species* (1869). Le deuxième tome de *Principles of Biology* paraît en 1867. Avant de poursuivre, il est important de signaler que nous avons eu accès aux deux volumes par des rééditions américaines dont la numérotation n'est pas précisée, celle de 1884 pour le premier tome, et celle de 1871 pour le deuxième tome. Les traductions en français datent, respectivement, de 1877 et de 1878. Pour les éditions de langue anglaise aussi bien que pour celles qui sont traduites, nous indiquons aussi la date de la première édition anglaise de manière à éviter une incohérence apparente dans la datation. Les indices de conceptualisation sont en italiques dans les citations (les mises en relief éventuelles des auteurs n'ont pas été conservées pour éviter toute confusion).

Pour Spencer, la vie s'organise selon des forces fondamentales. Comparant les êtres vivants à des cristaux formés d'atomes, il les conceptualise selon un modèle chimique :

We must infer that a plant or animal of any species, is made up of special units, in all of which there dwells the *intrinsic aptitude* to *aggregate* into the form of that species: just as in the atoms of a salt, there dwells the intrinsic aptitude to *crystallize* in a particular way. (Spencer, 1864/1884, p. 181 ; nous soulignons)

Nous devons conclure qu'une plante ou un animal d'une espèce quelconque se compose d'unités spéciales dans chacune desquelles réside une *aptitude intrinsèque* à *s'agréger* dans la forme de cette espèce: c'est ainsi que dans les atomes d'un sel réside une aptitude intrinsèque à *crystalliser* d'une façon particulière. (Spencer, 1864/1877, p. 218 ; nous soulignons)

C'est ce que relève Weismann lorsqu'il évoque la théorie de Spencer : « [...] the 'polarity' of the 'units' leads to their arrangement in such a way that the whole 'crystal' - the organism - is restored, or even formed anew » (Weismann, 1892/1893, p. 1).

Toutefois, constatant l'impossibilité de concevoir autant les cellules (*morphological units*) que les atomes ou les molécules (*chemical units*) comment étant les unités à l'origine de la formation des organismes vivants, Spencer postule l'existence d'unités « intermédiaires » (l'étoile indique un problème de traduction évoqué plus bas) :

If, then, this *organic polarity* can be possessed neither by the chemical units nor the morphological units, we must conceive it as possessed by certain intermediate units, which we may term physiological. [...] in each organism, the physiological units produced by this *further compounding of highly compound atoms**, have a more or less distinctive character. We must conclude that in each case, some slight difference of composition in these units, leading to some slight difference in their *mutual play of forces*, produces a difference in the form which the *aggregate* of them assumes. (Spencer, 1864/1884, p. 183 ; nous soulignons)

Si donc cette *polarité organique* ne saurait être possédée par les unités chimiques, ni par les unités morphologiques, nous devons croire qu'elle est possédée par certaines unités intermédiaires que nous appellerions physiologiques. [...] dans chaque organisme, les unités physiologiques produites par cette *combinaison d'atomes d'une composition avancée**, ont un caractère plus ou moins distinctif. Nous devons conclure que dans chaque cas, une légère

différence de composition dans ces unités amenant une légère différence dans le *jeu réciproque de leurs forces*, produit une différence dans la forme que prend alors leur *agrégat*. (Spencer, 1864/1877, pp. 221–222 ; nous soulignons)

Ainsi les unités physiologiques sont-elles postulées par déduction et non sur la base d'observations empiriques ou d'expérimentation mettant à l'épreuve une hypothèse. Ces unités se distinguent de celles de Maupertuis ou de Buffon : elles ne sont pas « des germes d'organes, mais des "éléments caractéristiques de l'espèce", des "corpuscules spéciaux", dont chacun possède une aptitude intrinsèque à s'agréger aux autres pour reproduire la forme propre à l'espèce » (Rostand, 1949, p. 249). Les cellules sexuelles contiennent les unités physiologiques de la mère et du père, qui sont transmises aux descendants chez lesquels se mélangent et s'affrontent les unités des deux parents. Les individus varient sous l'influence des forces environnementales et de l'habitude ou de manière spontanée. Ces deux sortes de variations sont transmises à la descendance et sont soumises à la sélection naturelle, ce qui explique l'évolution.

En ce qui concerne les modes de conceptualisation, les unités physiologiques se voient attribuer une certaine agentivité, mais ce n'est pas la métaphore la plus saillante, elle est même sous-représentée par comparaison aux textes modernes de biologie (Vandaele, 2009) :

Throughout the process of evolution, the two kinds of units, mainly agreeing in their polarities and in the form which they tend to *build themselves into*, but having minor differences, *work in unison to produce* an organism of the species from which they were derived, but *work in antagonism to produce* copies of their respective parent-organisms. (Spencer, 1864/1884, p. 254 ; nous soulignons)

Tout le temps de l'évolution, les deux espèces d'unités se ressemblent principalement dans leur polarité et dans la forme sous laquelle elles tendent à *se construire*, seulement, comme elles ont aussi des différences secondaires, elles *travaillent à l'unisson pour produire* un organisme de l'espèce d'où elles sont dérivées, mais *elles travaillent en opposition* l'une avec l'autre pour produire des exemplaires des organismes-*parents* d'où elles sortent respectivement. (Spencer, 1864/1877, p. 308 ; nous soulignons)

Les représentations fictives les plus saillantes évoquent plutôt un monde physicochimique de matériaux plus ou moins plastiques et soumis à des forces, de nature inconnue, qui les modèlent :

[...] each organism *is built* of certain of these *highly-plastic units* peculiar to its species - physiological units which *slowly work*

towards an equilibrium of their complex polarities, in producing an *aggregate of the specific structure*, and which, are at the same time slowly modifiable by the reactions of this *aggregate* [...]. (Spencer, 1864/1884, p. 287 ; nous soulignons)

[...] chaque organisme *est construit* avec certaines de ces *unités extrêmement plastiques*, particulières à son espèce, unités qui *travaillent lentement* à mettre en équilibre leurs propriétés polaires complexes, en produisant un *agrégat de la structure spécifique*, et qui en même temps sont susceptibles de se modifier lentement sous l'influence des réactions de cet *agrégat* [...]. (Spencer, 1864/1877, p. 350 ; nous soulignons)

Equally certain is it that the special molecules having a special *organic structure* as their form of *equilibrium*, must be *reacted* upon by the *total forces* of this organic structure ; and that, if environing actions lead to any change in this *organic structure*, these special molecules, or physiological units, subject to a changed distribution of the *total forces* acting upon them will undergo modification - modification which their extreme *plasticity* will render easy. (Spencer, 1864/1884, p. 487 ; nous soulignons)

Il est également certain que les molécules spéciales, ayant une *structure organique* spéciale comme leur forme *d'équilibre*, doivent subir la *réaction* des *forces totales* de cette structure ; et que si des actions environnantes conduisent à des changements dans cette *structure organique*, ces molécules spéciales, ou unités physiologiques, soumises à une distribution modifiée des *forces totales* agissant sur elles, subissent une modification que leur extrême *plasticité* rendra active. (Spencer, 1864/1877, p. 592 ; nous soulignons)

Selon Rostand, la théorie de Spencer reste relativement obscure, mais elle est la première évoquant l'existence « d'*unités intracellulaires*, douées de propriétés héréditaires définies, et ne représentant pas des germes d'organes ou de parties » (Rostand, 1949, p. 252). Outre que cela la distingue de la pangenèse de Darwin, dans laquelle les gemmules représentent des parties d'organes qui se rassemblent dans les organes sexuels, elle est donc, sur la question de ces unités intracellulaires, précurseur du gène, ou plutôt du chromosome porteur du génome.

L'évocation de forces appliquées à des éléments physiques n'est pas sans rappeler le système de forces « motrices » opposées qu'Empédocle d'Agrigente, considéré comme un des précurseurs antiques des chimistes, applique aux quatre éléments et qu'il nomme *amour* et *haine* :

Ainsi l'amour et la haine chez Empédocle ne sont nullement des *forces abstraites* ; ce sont simplement des milieux doués de *propriétés spéciales* et pouvant se déplacer l'un l'autre, milieux au sein desquels sont plongées les molécules corporelles [...]. Quant aux noms poétiques qu'Empédocle a choisis pour désigner ces milieux, ils ne doivent point faire illusion [...] il n'y a nullement là des personifications mythologiques véritables [...]. (Tannery, 1887, p. 306 ; nous soulignons)

Au delà de Spencer, cette métaphore de l'attraction et de l'opposition semble avoir nourri la pensée de la chimie et, partant, la pensée biologique qui se réclame de cette dernière. Elle se retrouve de nos jours en pharmacologie dans la terminologie des interactions ligand-récepteur, décrites en termes d'affinité, d'agonisme ou d'antagonisme (Beaulieu et Lambert, 2010, pp. 21–25). L'idée d'affinité se trouve déjà chez Maupertuis (1745), elle est empruntée aux chimistes qui commencent à l'appliquer aux « combinaisons de substances » (Rostand, 1949, p. 243). Elle se retrouve également chez Buffon (1749), lorsqu'il tente d'expliquer la constitution de l'embryon par « l'affinité » des molécules organiques en excès chez les adultes formés et qui se sont localisées dans les semences féminines et masculines. Et nous allons également la retrouver chez Darwin. Cette convergence n'est pas étonnante, puisque, comme le souligne Pichot, les travaux de Spencer, avec ceux de Haeckel et de Weisman s'inscrivent dans la vision résolument « physico-chimio-biologique » de la fin du XIX^e siècle (Pichot, 1999, p. 211). Et la filiation de pensée passe par Newton, connu de Spencer, et dont on sait qu'il influença Maupertuis et Buffon (Ruse, 2009, p. 21 ; Tort, 1996, pp. 459–471 et pp. 2837–2842).

Du point de vue de la traduction, on remarque que le traducteur, Émile Cazelles, suit de très près la formulation du texte anglais. Le texte traduit suit l'original phrase par phrase, sans d'autres reformulations que celles qui sont requises par l'idiomaticité de la langue. Les réseaux lexicaux témoignant des modes de conceptualisation sont fidèlement rendus. On sent quelques hésitations à l'occasion : par exemple, parmi les extraits présentés, la traduction de « the physiological units produced by this *further compounding of highly compound atoms** » (Spencer 1864/1884, p. 183 – nous soulignons) par « les unités physiologiques produites par cette *combinaison d'atomes d'une composition avancée** » (Spencer, 1864/1877, pp. 221–222 ; nous soulignons). Il nous semble que Spencer fait allusion ici à différents degrés de complexité (auxquelles il fait référence par ailleurs, en termes d'« atomes simples » et d'« atomes complexes ») et d'agrégation. Nous aurions plutôt traduit ce passage de la façon suivante : « les unités physiologiques produites par une combinaison d'atomes déjà complexes eux-mêmes ».

5.3 Haeckel et Elsberg : plastides et plastidules (*plastides, plastidules*)

Elsberg, dans un article faisant état d'une communication de 1874 présentée devant la American Association for the Advancement of Science et publié en 1875, introduit le terme, en anglais, de *plastidule* (la forme française homographe *plastidule* est retrouvée dans divers textes français de l'époque évoquant Elsberg). Les plastidules seraient des particules vivantes porteuses d'hérédité, infiniment petites et non encore observables, provenant de tous les ancêtres et contenues dans le germe de chaque être vivant. À chaque génération, les plastidules des parents se mélangent, menant à une différenciation graduelle qui se module en fonction de l'environnement. Nous ne disposons pas, à notre connaissance, de traductions en français des textes d'Elsberg.

Certains auteurs attribuent le terme *plastidule* à Elsberg, d'autres à Haeckel. Les textes de Haeckel publiés en allemand en 1868 font état du terme *Plastid* (*Plastiden* au pluriel). La traduction française (1874) fait état de *plastide* et la version anglaise (1880 et 1887 aux États-Unis pour les tomes 1 et 2), de *plastide* (ici aussi, la mise en relief en italiques de l'auteur n'a pas été conservée) :

As has already been mentioned, our whole understanding of an organism rests upon the cell theory established thirty years ago by Schleiden and Schwann. According to it, every organism is either a simple cell or a *cell-community, a republic of closely connected cells*. All the forms and vital phenomena of every organism are the *collective* result of the forms and vital phenomena of all the single cells of which it is composed. By the recent progress of the cell theory it has become necessary to give the elementary organisms, that is, the "organic" *individuals* of the first order, which are usually designated as cells, the more general and more suitable name of form-units, or plastids. Among these form-units we distinguish two main groups, namely, the cytods and the genuine cells. The cytods are, like the Monera, pieces of plasma without a kernel (p. 186, Fig. 1). Cells, on the other hand, are pieces of plasma containing a kernel or nucleus (p. 188, Fig. 2). Each of these two main *groups* of plastids is again divided into two *subordinate groups*, according as they possess or do not possess an external covering (skin, shell, or membrane). We may accordingly distinguish the following four grades or species of plastids, namely: 1. Simple cytods [...] ; 2. Encased cytods ; 3. Simple cells [...] ; 4. Encased cells [...]. (Haeckel, 1868/1880, p. 346 ; nous soulignons)

Dans son article de 1875, Elsberg écrit : « [...] in other words, that the germ of this new being contains actual particles, plastid-molecules or plastidules,¹ of its *grandparents* » (Elsberg, 1875, pp. 89–90 ; nous

soulignons). La note 1 en bas de la page 90 indique : « Haeckel has given the name Plastid, meaning forming or formative matter, to the units or ultimate form-elements to which organic bodies are reducible. » La note, fort longue, se poursuit à la page 91 : « The smallest partition-particles, or molecules, of a plastid I have called plastidules ; which I define to be the smallest particles in which the qualities of a plastid reside : the really "elementary factors of plastid life," as Haeckel [...] expresses it. » Et la référence à Haeckel date de 1873 ("Zur Morphologie der Infusorien" *Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft*, vol. vii, No. 4, 1873, p. 22).

Le terme *plastid* (*plastide*) est en fait, d'après le raisonnement de Elsberg, un générique subsumant quatre types d'éléments-formes (*form-element*) : sans noyau (une forme primitive d'après les descriptions de l'époque : les *cytodes*), avec (*Lepocytodes*) ou sans membrane (*Gymnocytodes*) ; avec noyau (les cellules), avec (*Lepocytes*) ou sans membrane (*Gymnocytes*). Il appelle les plus petites parties des plastides *plastidules* (en français, *plastidules*), mot-valise créé avec *plastide* et *molecule* (Elsberg, 1875, pp. 89–90). Elsberg attribue aux plastidules, situées dans le noyau, un rôle essentiel dans les processus de multiplication des cellules. Mais dans le même temps, il hésite à définir les plastidules comme un « centre ou un faisceau de forces » ou des « particules matérielles » :

To those who can more readily conceive the idea of force being transmitted than matter, it may make the subject clearer to state that I regard a "plastidule" quite as much a *centre or bundle of force as of matter*. [...] Nevertheless *actual material transmission appears to me the most probable*. [...] With the assumption of transmitted plastidules, the fact of the resemblances in features of children to grandparents, other inheritances good and evil, predisposition to disease, atavism, etc., are quite naturally explained. (Elsberg, 1875, pp. 89–90 ; nous soulignons)

The assumption made, and we shall not find it difficult to believe that the germ of a child contains *molecules or plastidules or bundles of force* derived through its parents from grandparents, great-grandparents, and in fact from a long line of ancestors. (Elsberg, 1875, p. 92 ; nous soulignons)

En 1877, Elsberg publie un court article qui réitère la position prise dans l'article de 1875 et qui vise à différencier sa théorie de celles de Haeckel, de Spencer et de Darwin. (Elsberg, 1877, p. 181). Il insiste sur ceci : « a plastidule is a *centre of force* quite as much as a *centre of matter*, and that *force or molecular motion* is preserved and transmitted quite as much as molecular substance » (Elsberg, 1877, p. 179 ; nous soulignons). Il

mentionne qu'il n'avait pas eu le temps d'approfondir la question de la transmission des forces, quand sont parus les travaux de Haeckel sur la périgenèse (*perigenesis*) dans lesquels la théorie d'Elsberg, dite *regeneration hypothesis*, aurait été mal comprise. Haeckel affirme que, dans sa théorie, seul le mouvement périodique des plastidules est transmis, mais Elsberg affirme que sa propre théorie en contenait le principe:

"[...] only the particular form of periodic motion ; and it is only this continuing 'wave-motion' of the plastidules' which, by virtue of their *memory*, causes the qualities of the older ancestors to reappear in the later progeny." (Haeckel, cité par Elsberg, 1877, p. 180)

Mais Elsberg affirme que sa théorie de *regeneration hypothesis* contient l'idée de la transmission de l'hérédité par le biais de la transmission du mouvement des plastidules (Elsberg, 1877, p. 181). L'article de Elsberg paraît donc faire état d'une querelle portant sur la paternité du concept de transmission héréditaire par les plastidules, et plus particulièrement sur l'idée du mouvement à l'origine de cette transmission.

Avec la périgenèse de Haeckel et les positions parallèles de Elsberg – bien qu'un peu hésitantes dans un premier temps –, c'est un nouveau mode de conceptualisation qui apparaît : l'unité d'hérédité n'est plus véritablement liée à l'existence d'une particule matérielle, mais à un phénomène de nature ondulatoire. Un peu plus tôt, Lamarck (1809), dont on caricature trop souvent la position en la résumant à une transmission simpliste des caractères acquis (voir Corsi et coll., 2006), admet la variabilité des espèces et propose une hypothèse de complexification graduelle des espèces sous l'effet de deux facteurs : le mouvement des *fluides* [sic] dans les corps vivants, qui amène le développement de nouveaux organes, et l'influence extérieure de l'environnement, qui amène un développement de ces organes par un usage plus ou moins grand. Il est intéressant de relever que Lamarck imagine une interaction entre le milieu externe au corps et le milieu interne. L'idée de mouvement se retrouve plus tard chez d'autres auteurs, pour tenter d'expliquer comment ce qui forme les organes se retrouve dans les organes reproducteurs (chez Darwin, dans le mouvement des gemmules), ou comment un caractère peut être transmis à la descendance (et donc, chez Elsberg et Haeckel, dans le mouvement ondulatoire des plastidules). Faut-il y voir une inspiration liée aux théories de la dualité onde-particule (ou onde-corpuscule) qui se sont épanouies au XIX^e siècle, mais dont les prémisses remontaient au XVII^e, avec la querelle entre Huyghens et Newton ?

6. Conclusion

L'examen des principaux auteurs du XIX^e siècle qui se sont penchés sur la nature des unités d'hérédité montre que chacun d'entre eux s'est positionné sur des axes distincts. Les théories microméristes se révèlent plus fructueuses que les théories organicistes néolamarckiennes, la vision globale de ses derniers bloquant l'accès à la conceptualisation des unités d'hérédité. Au sein des théories microméristes, un tournant décisif survient lorsqu'est abandonnée la vieille idée, remontant à l'Antiquité, des particules émises par le corps et se concentrant dans la semence, mais cet abandon se fait par étape. Spencer l'a déjà abandonnée quand Darwin y adhère encore (ce qui en fait le dernier représentant de la pangenèse), et Elsberg et Haeckel l'ont complètement laissée de côté. Weismann, ultérieurement, y portera le coup de grâce.

Si Darwin est fortement influencé par son activité de naturaliste, chez Spencer, qui paraît être fortement influencé par des concepts de physique et de chimie, la métaphorisation est conforme au discours chimique de l'époque et elle ne témoigne pas de mode spécifique qui lui soit particulièrement original. Il est néanmoins obligé de postuler l'existence d'une forme intermédiaire entre les cellules et les atomes ou les molécules, ce qui évoque, même très imparfaitement, ce qui sera le génome porté par les chromosomes. L'absence de données concrètes limite cependant la théorie. Quant à Haeckel et Elsberg, ils apportent un mode de conceptualisation « désincarné » (quoiqu'avec une certaine prudence) dans lequel ce qui serait transmis ne serait plus une entité concrète, mais un mouvement, autrement dit, une quantité d'énergie. Mais là aussi, une fois ceci posé, l'imaginaire scientifique est limité par le manque de données venant appuyer l'hypothèse.

En fait, chez ces auteurs, les réseaux lexicaux sont loin d'être aussi riches que ceux que l'on pourra observer au XX^e siècle en biologie cellulaire et moléculaire ou en génétique, domaines qui se verront enrichis par les recherches menées tout au long de ce siècle (voir Vandaele 2009). Notre analyse met en relief la limitation de la métaphorisation quand manquent les données issues de l'expérience : autrement dit, les modes de conceptualisation restent relativement pauvres, faute de pouvoir discriminer, à ce stade de la formation de l'hypothèse, des phénomènes spécifiques. Il se pourrait même que la volonté unifiante qui se révèle dans les théories du XIX^e siècle (vouloir trouver un mécanisme unique rendant compte de toutes les observations, aussi bien chez les végétaux que chez les animaux) constitue un frein à la métaphorisation. Au fond, en l'absence de la métaphore de l'encodage ou de l'information qui va prévaloir au XX^e siècle (Fox-Keller, 2002, 2003) dans l'histoire de la notion de gène, les savants de l'époque n'ont pas d'autre manière de raisonner sur les relations entre les unités d'hérédité et l'organisme qu'en termes de constituants, de déplacement et de génération.

En ce qui concerne la traduction, les textes révèlent, chez les différents traducteurs, un souci de la fidélité à l'auteur. Sauf quelques écarts ponctuels, on n'observe pas les errances d'une Clémence Royer traduisant *On the Origin of Species* (Brisset, 2006). Les traducteurs sont en fait eux-mêmes des scientifiques sinon toujours de profession, tout au moins de formation : Charles Jean Marie Létourneau (1831–1902), traducteur de Haeckel vers le français, détient un titre de docteur, et il est l'auteur de *La biologie* (1876). Sir Edwin Ray Lankester (1847–1929), traducteur de Haeckel vers l'anglais, est un zoologiste britannique réputé, membre de la Royal Society. Émile Cazelles (1831–1907 ou 1908 selon les sources), traducteur de Spencer, est médecin, mais il est surtout connu comme philosophe et homme politique. Les conceptualisations se retrouvent fidèlement, de façon générale, dans les traductions.

Pour terminer, il est frappant que les théories scientifiques de Spencer et de Haeckel aient été réfutées, mais que les concepts de nature non scientifiques aient perduré au point qu'ils ont constitué un terreau idéologique fertile au cours du XX^e siècle. Ils ont contribué certes à ancrer le transformisme, mais ils ont été, comme le dit Tort, des « partisans impurs » du darwinisme d'origine (tous deux étaient en fait plutôt lamarckiens à la base), le premier « s'en servant pour justifier la relation compétitive des individus entre eux, aboutissant à la disqualification nécessaire des moins aptes » (Tort, 2000, p. 131), et le second, « imprégné d'eugénisme spartiate et d'euthanasie [...] » (Tort, 2000, p. 133), allant nourrir l'idéologie nazie. La suite de nos recherches, outre l'étude des auteurs qui ont suivi, et notamment Weismann, qui inaugure la période expérimentale, visera sans nul doute à repérer les traces empruntée à ces deux auteurs dans les travaux ultérieurs, non pas sur le plan des notions elles-mêmes invalidées, mais sur celui des métaphores qui continueront ou non de s'imposer.

Références

- Bateson, W. (1905) *Letter to Adam Sedgwick*. John Innes Centre, <<http://www.jic.ac.uk/corporate/about/bateson.htm#UAMarr-Qj-k>>, consultée le 10 juillet 2012.
- Beaulieu P., et Lambert, C. (2010). *Précis de pharmacologie - Du fondamental à la clinique*. Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal.
- Boyd, R. (1993). Metaphor and theory change: What is metaphor a metaphor for ? Dans A. Ortony (dir.), *Metaphor and thought* (pp. 533–542). Cambridge : Cambridge University Press.
- Brisset, A. (2006). Le traducteur, sujet du sens - discours scientifique et conflit de représentations. Dans M. Lederer (dir.), *Le sens en traduction* (pp. 21–33). Caen : Minard.
- Buffon, G. L. Leclerc, comte de (1749). Histoire générale des animaux. Dans *Histoire naturelle, générale et particulière, tome II*. Paris : Imprimerie royale.
- Cassier, M., et Stoppa-Lyonnet, D. (2012). Un juge fédéral et le gouvernement des États-Unis interviennent contre la brevetabilité des gènes. *M/S : médecine/sciences*, 28(2), 11–15.

- Chevassus-au-Louis, N. (2001). Qu'est-ce qu'un gène ? Dix-huit facettes d'un même concept. *La Recherche*, 348, <<http://www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=12281>>, consultée le 10 juillet 2012.
- Corsi, P., Gayon, J., Gohau, G., et et Tirard S. (dir.). *Lamarck : philosophe de la nature*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Cuvier, G. (1825). *Discours sur les révolutions de la surface du globe*. Paris : G. Dufour et Ed. D'Ocagne.
- Darwin, C. (1868). *The variation of animals and plants under domestication* (1^{re} éd.). London : John Murray.
- Darwin, C. (1875). *The variation of animals and plants under domestication* (2^e éd.). London : John Murray.
- Darwin C. (1868). *De la variation des animaux et des plantes sous l'action de la domestication*. Traduction de la 1^{re} éd. anglaise (1868) par J. J. Moulinié. 2 tomes. Paris : Reinwald.
- Darwin C. (1879–1880). *De la variation des animaux et des plantes sous l'action de la domestication*. Traduction de la 2^e éd. anglaise (1875) par E. Barbier. Paris : Reinwald.
- Delage, Y. (1903). *L'Hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*. Paris : Reinwald.
- De Maupertuis, P. L. Moreau (1745) *Vénus physique*. (sans mention d'éditeur)
- Elsberg, L. (1875). Regeneration or the preservation of organic molecules. *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science - 23rd meeting held at Harford, Conn., August 1974*, 2387-103.
- Elsberg, L. (1877). On the plastidule hypothesis. *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science - 25th meeting held at Buffalo, NY, August 1976*, 25, 177–186.
- Fox-Keller, E. (2002). *The century of the gene*. Boston : Harvard University Press.
- Fox-Keller, E. (2003). *Expliquer la vie - Modèles, métaphores et machines en biologie du développement*. Paris : Gallimard.
- Galton F. (1875) A theory of heredity. *Contemporary Review*, 27, 80–95.
- Galton, F. (1876). La théorie de l'hérédité. *La revue scientifique de la France et de l'étranger*. Traducteur inconnu. 2^e série(5^e année), 198–205.
- Gayon, J. (2004). La génétique est-elle encore une discipline ? *M/S : médecine/sciences*, 20(2), 248–253.
- Gerstein, M. B., Can, B., Rozowsky J. S. et coll. (2007). What is a gene, post-ENCODE ? History and updated definition. *Genome Research*, 17, 669–681.
- Gilgenkranz, S. (2012). Autisme, le gène introuvable - De la science au business, Bertrand Jordan. *M/S : médecine/sciences*, 28(3), 316–320.
- Haeckel, E. (1874). *Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles*. Traduit de l'allemand (1868) par Ch. Létourneau. Paris : C. Reinwald et cie.
- Haeckel, E. (1880). *The History of creation: or the development of the earth and its inhabitants by the action of natural causes*. Vol. 1. Traduit de l'allemand (1868) par E. R. Lankester. New York : D. Appleton and Company.
- Heams, T. (2011) Hérédité. Dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre, & M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (pp. 71–88) . Nouvelle édition revue et augmentée. Coll. Sciences & Philosophie. Paris : Éditions matériologiques.
- Johannsen, W. (1909). *Elemente der exakten Erblichkeitslehre*. Iéna : Fischer.
- Jordan, B. (2012). Perseverare diabolicum ? *M/S : médecine/sciences*, 28, 659–662.
- Kahn, A. (1996). *Société et révolution biologique : pour une éthique de la responsabilité*. Versailles : Éditions Quae.

- Kuhn, T. S. (1993). Metaphor in science. Dans A. Ortony (dir.), *Metaphor and thought* (pp. 481–532). Cambridge : Cambridge University Press.
- Kupiec, J.-J., et Sonigo, P. (2003). *Ni dieu, ni gène - Pour une autre théorie de l'hérédité*. Paris : Éditions du Seuil.
- Labelle, M. (2009). *Les réseaux lexicaux nominaux témoignant de la conceptualisation métaphorique en anatomie*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal.
- Lakoff, G. (1980/2003). *Metaphors we live by - With a new afterwards*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1993). The contemporary theory of metaphor. Dans A. Ortony (dir.), *Metaphor and thought* (pp. 201–251). Cambridge : Cambridge University Press.
- Le Douarin N. M., et Puigelier, C. (dir.). (2007). *Science, éthique et droit*. Paris : Odile Jacob.
- Lamarck, J.-B. (1809), *Philosophie zoologique*. Paris : Dentu.
- Létourneau, C. J. M. (1876). *La biologie*. Paris : C. Reinwald.
- Lubin, L. (2006). *Étude des métaphores conceptuelles utilisées dans la description des structures anatomiques*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal.
- Mendel, G. (1865). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn*. Brünn: Vereines.
- Paley, W. (1804). *Théologie naturelle ou preuves de l'existence et de attributs de la divinité, tirées des apparences de la nature*. Traduit de l'anglais par C. Pictet. Genève : Imprimerie de la Bibliothèque Britannique.
- Parker, M. (2012). *Ethical problems and genetics practice*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Pramling, N. (2008). The role of metaphore in Darwin and the implication for teaching evolution. *Science Studies and Science Education*, 537–547.
- Pichot, A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard.
- Pichot, A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Coll. Champs. Paris : Flammarion.
- Rostand, J. (1949). Esquisse d'une histoire de l'atomisme en biologie. *Revue d'Histoire des Sciences et de Leurs Applications*, 2(3), 241–265.
- Séralini, É. (2005) *Génétiquement incorrect*. Coll. Champs. Paris : Flammarion.
- Spencer, H. (1877). *Principes de biologie*. Tome 1. Traduction de la 1^{re} édition anglaise (1864) par É. Cazelles. Paris: Librairie Germer Baillière.
- Spencer, H. (1878). *Principes de biologie*. Tome 2. Traduction de la 1^{re} édition anglaise (1867) par É. Cazelles (1864). Paris: Librairie Germer Baillière.
- Spencer, H. (1884). *The principles of biology*. Vol. 1. Réédition de la 1^{re} édition (1864) anglaise. New York : D. Appleton and Company.
- Spencer, H. (1877). *The principles of biology*. Vol. 2. Réédition de la 1^{re} édition (1867) anglaise. New York: D. Appleton and Company.
- Ruse, M. (2000). Metaphor in evolutionary biology. *Episteme (Porto Alegre)*, 8, 107–127.
- Ruse, M. (2009). *Philosophy after Darwin : Classic and contemporary readings*. Princeton : Princeton University Press.
- Talmy, L. (2000). Fictive motion in language and "Ception". Dans *Towards a cognitive semantics (Volume I) : Concept structuring systems* (pp. 99–175). Cambridge : The MIT Press.
- Tort, P. et coll. (dir.) (1996). *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*. Trois tomes. Paris : Presses Universitaires de France.
- Tort, P. (2000). Quelques erreurs tenaces concernant Darwin. Dans *Darwin et la science de l'évolution* (pp. 136–143). Paris : Gallimard.
- Tannery, P. (1887). *Pour l'histoire de la science hellène*. Paris : Felix Alcan.

- Vandaele, S., Boudreau, S. Lubin, L., et Marshman, E. (2006). La conceptualisation métaphorique en biomédecine : indices de conceptualisation et réseaux lexicaux. *Glottopol*, 8, 73–94.
- Vandaele, S., et Lubin, L. (2005). Approche cognitive de la traduction dans les langues de spécialité : vers une systématisation de la description de la conceptualisation métaphorique. *Meta*, 50(2), 415–431.
- Vandaele, S., et Raffo, M. (2007). Conceptualización metafórica en el discurso científico y en el de divulgación. Dans M. A. Campos Pardillos et A. Gómez González-Jover. (dir.), *The language of healthcare – Proceedings of the 1st International Conference on Language and Health Care*, IULMA, Universidad de Alicante, 24-26 octobre 2007 (publié sous forme de CD).
- Vandaele, S., et Raffo, M. (2008). Signification lexicales et notionnelles dans les domaines de spécialité. Dans F. Maniez et P. Dury (dir.), *Lexicologie et terminologie : histoire de mots* (pp. 249–268). Lyon : Travaux du CRTT.
- Vandaele, S. (2009). Les modes de conceptualisation du vivant : une approche linguistique. Dans F.-E. Boucher, S. David, & J. Przychodzen, J. (dir.), *Pour ou contre la métaphore ? Pouvoir, histoire, savoir et poétique*, (pp. 187–207). Paris : L'Harmattan.
- Vignais P., et Vignais P. (2006). *Science expérimentale et connaissance du vivant - La méthode et ses concepts*. Coll. Grenoble Sciences, J. Bornarel (dir.). Grenoble : EDP Sciences.
- Weismann, A. (1892). *Das Keimplasma : Eine Theorie der Vererbung*. Iéna : G. Fischer
- Weismann, A. (1893). *The germ-plasm: A theory of heredity*. Traduit de l'allemand (1892) par W. N. Parker et H. Rönnefeldt. New York: Charles Scribner's Sons.
- Zirkle, C. (1946). The early history of the idea of the inheritance of acquired characters and of pangenesis. *Transactions of the American Philosophical Society, New Series*, 35(2), 91–151.