

Métaphores, analogies, et modèles comme pratiques interdisciplinaires dans la constitution des objets scientifiques

Jean-Gaël Barbara

▶ **To cite this version:**

Jean-Gaël Barbara. Métaphores, analogies, et modèles comme pratiques interdisciplinaires dans la constitution des objets scientifiques. F. Darbellay (sous la direction de), La circulation des savoirs, Interdisciplinarité, concepts nomades, analogies, métaphores, 2012. halshs-03090939

HAL Id: halshs-03090939
https://shs.hal.science/halshs-03090939

Submitted on 30 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

J.G. Barbara, 2012. « Métaphores, analogies, et modèles comme pratiques interdisciplinaires dans la constitution des objets scientifiques », F. Darbellay (sous la direction de), La circulation des savoirs, Interdisciplinarité, concepts nomades, analogies, métaphores, Berne, Berlin, Bruxelles, Frankfort, New York, Oxford, Vienne, Peter Lang, 2012, 245 p., ISBN 978-3-0343-1194-6 br, p. 129-147.

Métaphores, analogies, et modèles comme pratiques interdisciplinaires dans la constitution des objets scientifiques

Jean-Gaël Barbara
Université Pierre et Marie Curie, CNRS UMR 7102
Université Denis Diderot, CNRS UMR 7219

Jean-Gaël Barbara, neurobiologiste et historien des neurosciences, est chercheur au CNRS en histoire des sciences de la vie au laboratoire CNRS UMR 7102 de l'Université Pierre et Marie Curie et au laboratoire CNRS UMR 7219 de l'Université Denis Diderot. Il est reponsable du Club d'histoire des neurosciences de la Société des neurosciences (France) et l'auteur de deux ouvrages récents sur l'introduction du concept de neurone dans la physiologie du XX^{e} siècle : *La naissance du neurone*, Paris, Vrin, 2010 et *Le paradigme neuronal*, Paris, Hermann, 2010. Il a édité en 2011 en collaboration avec Jean-Claude Dupont et Irina Sirotkina, dans le cadre d'un projet international du CNRS et de l'Académie des sciences de Russie, un ouvrage collectif intitulé *The history of the neurosciences in France and Russia*, Paris, Hermann, 2011.

Résumé

Nous proposons une analyse de la métaphore du médecin anglais Thomas Willis (1621-1675) expliquant les caractères des esprits-animaux par analogie avec les propriétés de la poudre à canon, ainsi qu'une autre du modèle physique du nerf artificiel de Ralph S. Lillie (1907-1942) proposant des analogies entre une réaction électrochimique et la propagation de l'influx nerveux. Nous démontrons que ces usages de la métaphore et de l'analogie recouvrent des pratiques interdisciplinaires et que l'analyse spéciale de ces études de cas permet de révéler comment certains concepts et modèles explicatifs sont empruntés à un domaine de référence pour enrichir un domaine cible de manière ni entièrement satisafaisante ni heuristique mais selon des procédés de création scientifique rationnels et productifs. Nous montrons que l'analyse des métaphores et des analogies peut être un outil

utile à l'histoire des sciences pour révéler la constitution de modèles à l'interface entre champs de connaissances ou entre disciplines scientifiques depuis le XVII^{e} siècle.

Introduction

L'étude de la place et du rôle des métaphores et des analogies constitue une analyse réflexive engagée dès la philosophie grecque et qui s'est progressivement consacrée à la littérature, à la pensée intellectuelle, et en particulier aux sciences. Au XX^{e} siècle, ces analyses ont relevé non seulement de la philosophie, mais aussi de la linguistique, de l'histoire des sciences, de la psychologie et plus récemment des sciences cognitives. Ce thème de recherche a donné lieu au cours des années 1960 et 1970 à des rencontres interdisciplinaires qui ont permis de confronter, mais aussi de rapprocher, toutes les conceptions possibles des métaphores et des analogies (Ortony, 1979), en particulier celles de M. Black, J. Searle, G. Lakoff, D. Gentner, R. Boyd ou Th. Kuhn. Mais l'ensemble de ces études fournissent des cadres d'analyse généraux rigoureux qui ont progressivement appauvri tous les champs d'analyse possibles de l'histoire des sciences pouvant en particulier s'ouvrir du côté d'une histoire sociale des sciences attentive à « l'historicité du statut de l'analogie »[1] et de la métaphore.

D'un point de vue plus général, ces études n'ont pas suffisamment distingué les différents usages qu'ont fait les scientifiques des métaphores et des analogies selon qu'ils s'adressaient à leurs collègues dans des articles ou dans des textes plus libres, aux hommes politiques ou au grand public. Les usages des métaphores et des analogies diffèrent alors profondément dans ces situations d'un point de vue linguistique et épistémologique, avec le passage d'une visée d'ordre majoritairement épistémologique à une autre, rhétorique ou didactique[2]. Si nous restreignons l'étude au champ scientifique, celui de la science expérimentale en particulier, l'analyse épistémologique elle-même confond souvent les différents caractères des métaphores et analogies : le caractère théorique et interdisciplinaire en usage dans l'explication scientifique, le caractère pratique à l'œuvre

[1] Durand-Richard, 2008 : 12.
[2] Quelle que soit l'époque, ces visées peuvent être présentes dans un même texte.

dans l'innovation technologique[3], le caractère prospectif, où la rigueur cède sa place à l'imagination libre, reconnu d'Aristote à Bachelard et jusqu'à nous (Buser et al., 2009). Ces caractères sont le plus souvent perçus comme antinomiques d'un point de vue épistémologique (Durand-Richard, 2008 : 2-3), alors que ces distinctions permettent aux recherches actuelles consacrées à la métaphore et à l'analogie de mettre l'accent sur leurs fonctions, indépendamment de tout jugement normatif relevant d'une philosophie des sciences. Il s'agit non seulement de la fonction heuristique, critiquée par le passé à une époque de survalorisation de la « découverte scientifique », mais de toutes les fonctions créatrices imaginables qui sont également étudiées d'un point de vue cognitif, à savoir les créations de pratiques, de procédures, de nouveaux instruments, d'hypothèses, d'explications et de théories.

Il n'y a plus aujourd'hui de raison pertinente pour adopter, au nom d'une certaine théorie de la connaissance, une position générale sur l'évaluation des fonctions de la métaphore et de l'analogie dans ces processus. C'est pourquoi nous considérons l'intérêt de ces analyses d'un point de vue inverse en demandant comment les métaphores et les analogies nous renseignent sur les sciences particulières qui en font usage, sur les circulations des concepts en jeu et sur les processus de constitution des objets scientifiques (Barbara, 2008). Il n'est plus question de faire preuve d'un encyclopédisme sur l'analogie et la métaphore, mais de prendre leurs analyses comme un nouvel outil de l'histoire des sciences.

C'est dans une telle perspective que nous proposons ici d'envisager comment les métaphores et les analogies peuvent s'interpréter comme des « pratiques interdisciplinaires », en particulier dans la construction théorique, et de manière plus importante, comment leur étude peut les révéler. Cette fonction de croisement interdisciplinaire a été peu décrite et caractérisée précédemment, bien qu'on ait parfois

[3] Voir en particulier le séminaire 2011-2012 sur le thème « Analogie et techniques. Approches pluridisciplinaires », Université Paris Diderot, EHESS, Département d'histoire (GHSS), laboratoire SPHERE, Université Paris Diderot, organisé par S. de Beaune, L. Pérez et K. Vermeir à propos de questions du type : comment Léonard a-t-il inventé ses machines de vol ? Comment expliquer les transpositions de méthodes de tissage dans des techniques de guerre, d'instruments de meunerie dans la fabrication des cosmétiques ? Comment peut-on comprendre les rapports entre des artefacts préhistoriques sans disposer de sources textuelles ?

reconnu l'intérêt cognitif des métaphores et des analogies pour unifier les explications théoriques (Ambrose, 1996).

Nous souhaitons pour notre part analyser une métaphore et une analogie du corpus des textes relatifs aux sciences du système nerveux pour mettre en évidence et interpréter des formes d'interdisciplinarité non pas insoupçonnées, mais largement sous-estimées. L'enjeu est de mieux comprendre le rôle des pratiques interdisciplinaires utilisant des métaphores et des analogies dans la constitution de nouvelles connaissances.

L'interprétation classique, linguistique et philosophique, de la métaphore et de l'analogie repose sur la reconnaissance d'une similitude imparfaite entre un domaine cible (l'objet scientifique étudié) et un domaine de référence (la métaphore ou l'analogie proprement dite), c'est-à-dire sur un mélange subtil d'incongruité et d'une forme de similitude plus ou moins explicite (une similitude partielle de propriétés, un rapport de proportionnalité, une même structure de relations entre propriétés). D'autres interprétations moins descriptives ont mis l'accent sur les aspects dynamiques (Paul Ricœur, 1975). Mais dans les sciences expérimentales, la première dynamique est celle propre de l'objet scientifique caractérisée par l'ensemble interactif des concepts de constitution et des objectivations relatif aux phénomènes en jeu (Barbara, 2010). Cette dynamique est pensée parallèlement à celle de la métaphore ou de l'analogie qui fonctionne intuitivement comme un modèle, au sens minimal de schéma de pensée. La dynamique propre de la métaphore ou de l'analogie est celle qui établit des correspondances entre les mécanismes imaginés ou perçus dans l'expérience concrète ou le modèle analogique et ceux des phénomènes étudiés. Nous entendons ici par « mécanisme » une explication causale reposant sur des concepts à la fois objectivés et non objectivés, comme par exemple la compréhension de la combustion par l'alchimie du XVII^{e} siècle. Dans ce cas, ce qui importe n'est pas l'ensemble des similitudes repérées mais la vertu explicative des transferts de types de causalité et de concepts (Pickering, 1999 ; Fox-Keller, 2003 : 120). Ce point de vue rejoint la thèse défendue par Max Black sur la « vision interactionniste » de la métaphore selon laquelle elle peut fonctionner comme un « modèle-analogue » (Black, 1962).

Cette vertu n'est ni didactique ni rhétorique ni purement linguistique, mais elle fait de la métaphore ou de l'analogie une forme imparfaite de modèle explicatif. Cette imperfection n'est plus méprisée tant elle est largement reconnue aujourd'hui pour d'autres formes d'explication scientifique, tant « le modèle explicatif, réplique intégrale, soit concrète soit logique, des propriétés structurales et fonctionnelles de l'objet biologique a été relégué au rang d'un mythe » (Canguilhem, 1968 : 318). E. Fox-Keller ou N. Carthwright, elles aussi, reconnaissent que les « *models of real things* » sont davantage des instruments pour se rapprocher d'une explication (« *models for* ») qu'une représentation qui vise le réel (Fox-Keller, 2000). Or cette vertu explicative de la métaphore ou de l'analogie repose sur deux aspects fondamentaux : un vide épistémologique dans le champ du domaine cible (l'objet scientifique) et un mécanisme propre au domaine de référence. Ce vide reflète l'impossibilité de concevoir un concept du domaine cible – une non-représentation ou un non-concept[4]– et crée la nécessité d'un transfert interdisciplinaire complexe qui s'exprime parfois par une simple référence.

L'intérêt de l'analyse des métaphores et des analogies que nous revendiquons pour l'histoire des sciences repose précisément sur la révélation, dans les textes scientifiques, de nouvelles procédures de recherche à la frontière des champs scientifiques constitués à différentes périodes historiques.

1. La métaphore de la poudre à canon chez Thomas Willis au XVII^{e} siècle

Le premier exemple envisagé est la métaphore de l'inflammation d'une traînée de poudre à canon suivie de l'explosion d'un baril utilisée par le médecin anglais Thomas Willis (1621-1675)[5] pour expliquer la contraction musculaire induite par l'action des nerfs.

[4] Le non-concept de la propagation des esprit-animaux que nous dénommons « influx nerveux » mais qui n'est pas pensé à l'intérieur de son champ d'étude (la médecine) au XVII^{e} siècle.
[5] Membre fondateur de la *Royal Society*. Willis a étudié puis travaillé à Oxford, Westminster, Londres et de nouveau Oxford, où il fut titulaire de la chaire de Philosophie naturelle.

Cette métaphore célèbre est significative de l'obstacle que constitue le dépassement du modèle hydraulique du cheminement des esprits-animaux dans les nerfs dans le cadre du vitalisme de Willis. Ce mode de référence n'est pas une simple métaphore linguistique, car elle se fonde sur des analogies précises entre, d'une part, les doctrines médicales et physiologiques de Willis, et d'autre part, l'alchimie qu'il a étudiée à Oxford lorsqu'il peinait à trouver une charge de médecin. La métaphore opère la convergence de l'alchimie de la combustion et d'une tentative nouvelle d'explication du mouvement des esprits-animaux jusqu'à la contraction musculaire. Elle constitue néanmoins une association épistémique essentiellement insatisfaisante qui fera d'ailleurs place au siècle suivant à l'analogie entre l'électricité de Volta et l'électricité animale de Galvani. Mais cette insatisfaction récurrente est précisément un moteur de création des métaphores et des analogies scientifiques fondées sur la pratique d'une interdisciplinarité, c'est-à-dire sur l'importation d'un mode explicatif dans un domaine de recherche cible.

En réalité la métaphore de Willis a une histoire propre qui la situe dans ce que l'on a parfois nommé la « *gunpowder physiology* » (Werrett, 2010). De même que la construction de machines mécaniques a servi de modèle pour comprendre le vivant dans l'Antiquité, en particulier pour penser les rapports entre le tout et les parties chez Aristote (Canguilhem, 1968a : 320-323), les théories alchimiques de la combustion et les connaissances pratiques des machines à feu ont fourni un modèle dans lequel l'énergie n'est plus fournie par l'animal, mais contenu dans un élément matériel. Pour Willis, l'explosion des armes à feu possède un caractère tout-ou-rien qu'il reconnaît à quelques affections pathologiques comme les spasmes. Mais il ne s'agit pas ici d'une simple similitude comme le seront ultérieurement au XX^{e} siècle celles d' « action détonatrice » du motoneurone (Fulton) ou du « *detonator* » de la synapse d'Eccles. De même que les alchimistes imaginent que le salpêtre de la poudre explose par combustion d'un principe nitreux aérien énergétique en libérant du soufre, Willis et avant lui Pierre Gassendi imaginent une réaction explosive faisant intervenir des principes identiques, contenus dans les esprits-animaux et le sang, qui se rencontrent et produisent une explosion à l'intérieur du muscle. Cette conception sera combattue au début du XVIII^{e} siècle par le médecin militaire François Pourfour du Petit par ses résultats d'expériences de vivisection sur le

chien réfutant la participation d'un principe nitreux dans la contraction musculaire (Pourfour du Petit, 1701 ; Barbara, 2006). Contrairement à cette démarche expérimentale, ce qui caractérise Willis est son effervescence spéculative qui associe les pratiques de la clinique et de la dissection[6]. D'un point de vue théorique, Willis associe le mécanisme de Descartes pour expliquer la direction du mouvement des esprits-animaux par des membranes fonctionnant comme des soupapes et l'idée d'une ébullition à l'intérieur des muscles selon le schéma cartésien de la contraction cardiaque. Mais l'originalité de Willis est d'être également fidèle à Harvey, à l'alchimie de Paracelse et à l'atomisme de Gassendi tout en développant des conceptions très personnelles. Selon Willis, toutes les manifestations du vivant reposent sur le principe universel de la fermentation se produisant grâce aux « particules nitreuses » matérielles identiques dans le monde vivant et le monde inerte (Chang, 2002).

La métaphore de Willis est souvent considérée comme une représentation imagée de la contraction musculaire qui persiste d'ailleurs dans le langage neurophysiologique sous cette forme au XX^{e} siècle. Mais elle repose en réalité sur un modèle complexe développé aux frontières de l'anatomie, de la clinique, de la physiologie et de l'alchimie. Willis l'utilise pour élaborer une analogie entre le mécanisme de la combustion dans le muscle et celle se produisant dans un canon, en supposant des particules identiques et un même principe de fermentation. L'analogie n'est pourtant pas développée de manière critique et l'imagination l'emporte dans la spéculation, si bien que l'image de la poudre à canon demeure essentiellement une métaphore, même si on lui confère une dimension active et un statut de modèle. Car elle permet d'unifier l'explication des phénomènes vivants et chimiques selon une pratique, qu'on s'autorise à qualifier d'interdisciplinaire, à l'œuvre dans cette construction théorique.

Les œuvres de Willis renferment d'innombrables autres métaphores en tous genres. Toutes n'ont pas la valeur de celle de la poudre à canon qu'on peut encore caractériser comme étant une « forme densément interconnectée et peu explicite de similitude et de métaphore », en particulier caractéristique des textes alchimiques du XVII^{e} siècle

[6] Willis se forme à la dissection vers 1660 (O'Connor, 2003), tout comme Charles Perrault et avant eux Descartes.

(Gentner, 1993 : 475). La plupart des autres métaphores de Willis permettent un langage imagé, à la mode à son époque, dont la connotation est parfois politique dans le contexte de la Restauration anglaise (1660-1680). Ainsi le cerveau est parfois présenté comme une « chapelle de la divinité » ou un « royaume » et les nerfs comme des « soldats » (O'Connor, 2003). L'analyse du contexte politique de l'Angleterre suggère que cette pratique courante permet aux auteurs de revendiquer leur loyalisme envers le roi au cours de cette période troublée. Ceci explique aussi en grande partie la liberté de Willis pour construire son système physiologique à Oxford qui précède les grands systèmes médicaux du XVIII^{e} siècle (O'Connor, 2003). Willis s'est permis d'associer en une théorie personnelle de la contraction musculaire déclenchée par les nerfs toutes les disciplines auxquelles il s'était formé depuis ses études jusqu'à l'obtention à Oxford de sa chaire de philosophie naturelle.

2. Le modèle analogique du nerf artificiel de Ralph S. Lillie au XX^{e} siècle

Le problème de la nature et de la propagation de l'agent nerveux contractant les muscles est un exemple de problème biologique qui se pose de manière très similaire à des périodes éloignées. Cela nous permet d'envisager d'une manière très différente ce problème au XX^{e} siècle dans l'œuvre du physiologiste américain Ralph S. Lillie (1907-1942) par la construction d'une analogie selon les nouveaux canons scientifiques de l'époque qui émergent selon Gentner (1993) à partir du XVII^{e} siècle. Le contexte scientifique est bien entendu totalement différent, car la nature cellulaire de la fibre nerveuse et sa composition protoplasmique organisée furent admises au cours du XIX^{e} siècle. L'influx nerveux (*nervous impulse*) est considéré comme le déplacement d'un déséquilibre probablement ionique (théorie de Bernstein) nommé « *propagated disturbance* » par le physiologiste britannique Keith Lucas (1879-1916). Lillie admet en conséquence que la propagation n'implique aucun déplacement de matière (Lillie, 1918a : 51). Et c'est là une raison pour laquelle il n'existe selon lui aucun modèle expliquant cette

propagation, en dépit des analogies développées au tournant du XX^{e} siècle mais qui lui semblent trompeuses :

> The difficulty of the problem has been accentuated by the apparent lack of any close analogies with known inorganic processes. Comparisons with the electric current, with the transmission of mechanical influences such as elastic strain or vibration, and with the propagation of explosive waves or of germ-effects like crystallization in supersaturated solution, have all proved inadequate and often highly misleading (Lillie, 1918 : 52).

Pour Lillie, l'influx nerveux n'est pas la transmission linéaire d'une vibration mécanique ou acoustique, ou encore le déplacement d'un courant. Car ce n'est ni un phénomène passif ni un déplacement linéaire de particules. Ce n'est pas non plus un phénomène de réaction en chaîne comme la cristallisation des solutions saturées ou la cristallisation de l'eau en superfusion de manière radiale à partir d'un petit cristal de glace déposé à la main. Lillie résume ainsi les propriétés de l'influx nerveux : il est induit par un choc mécanique ou électrique délivré au nerf ; l'induction est plus efficace avec une certaine polarité de la stimulation électrique ; la vitesse de propagation de l'activation est de quelques dizaines de mètres par seconde ; l'activation a un caractère tout-ou-rien ; l'onde électrique propagée est diphasique ; cette propagation produit de la chaleur et consomme de l'énergie chimique.

Lillie est a priori peu armé pour traiter ce problème complexe, car il a une formation de zoologiste et a travaillé principalement sur l'influence des compositions ioniques de solutions salines, par exemple sur la contractilité de larves d'annélides marins. D'emblée il adopte la théorie membranaire d'Ostwald-Bernstein dans laquelle l'excitation et la stimulation des tissus vivants dépendent d'une annulation temporaire de la semi-perméabilité des membranes (Lillie, 1909). Cette option théorique se rattache à son adhésion à la théorie protoplasmique selon laquelle les phénomènes du vivant dépendent de la composition du cytoplasme et de l'organisation des membranes cellulaires. Pour Lillie, la théorie protoplasmique est l'une des grandes généralisations de la biologie aux côtés de la théorie de l'évolution et de la théorie cellulaire (Lillie, 1914 : 229), alors qu'elle n'est encore en réalité à cette époque qu'une hypothèse générale qui se renforce en

combattant les succès de la génétique et l'idée du rôle central du noyau cellulaire. L'étude des changements de perméabilité membranaire au cours de la fécondation d'ovules d'animaux marins suggère à Lillie que des phénomènes électrochimiques et d'osmolarité sont essentiels à la survie des cellules, ainsi qu'à des processus aussi fondamentaux que la fécondation (Lillie, 1918b). De manière similaire, Lillie pense que l'intégrité protoplasmique de toute cellule repose sur la semi-perméabilité de la membrane, ce qui est aujourd'hui accepté.

Le modèle physique que Lillie développe et étudie afin de rechercher toutes les analogies possibles qualitatives et quantitatives avec la conduction nerveuse est emprunté aux travaux du chimiste Wilhelm Ostwald (1853-1932), prix Nobel de chimie de 1909, sur la catalyse chimique (Chizmadzhev et Pastushenko, 1985). Ostwald décrit en particulier des réactions d'oxydation à la surface de tiges de chrome dans des solutions acides en mentionnant l'analogie avec l'influx nerveux (Ostwald, 1900). Le modèle de Lillie légèrement modifié est le suivant : une tige de fer plongée dans une solution concentrée d'acide nitrique se couvre d'une couche d'oxyde passive. Si l'on gratte localement l'oxyde, il se produit une réaction de dissolution du métal qui court le long de la tige dans les deux sens, avec reformation de la couche d'oxyde. Bonhoeffer a réalisé des modèles quantitatifs à la suite des travaux de Lillie. Pour le domaine de l'histoire de l'électrochimie, Lillie n'est donc qu'un jalon entre, d'une part, Ostwald et son élève Heathcote (1907), et Bonhoeffer et Gerischer, d'autre part (1948). Mais dans celui de l'histoire de la physiologie, Lillie est bien le biologiste qui a fait connaître ce modèle physique et qui a le mieux analysé les analogies subtiles entre la réaction électrochimique et les propriétés physiologiques de la conduction nerveuse (Lillie, 1919) :

> In the passive metal the composition and physical properties of this thin layer are such that it is very readily and rapidly altered or removed by the electrochemical action of the local circuits which appear wherever the film is locally interrupted or its permeability increased beyond a certain limit. The originally continuous and homogeneous film (of oxide or oxygen compound) may thus be removed by electrolytic reduction at the local cathode; a new local circuit is then automatically formed at the boundary between this reduced or activated region (where metallic iron is exposed) and the film-covered or passive area beyond, which forms the

cathode of the circuit; a similar process is there repeated; and in this manner the active state is propagated over the whole surface of the metal. Similarly in the living system, e.g., nerve-axone (according to the local action theory of protoplasmic transmission), the surface-film or plasma-membrane is locally altered or interrupted in an analogous manner by the action of the local bioelectric circuit formed between the region of excitation and the resting region beyond; at this latter region, where the current (positive stream) of the circuit passes from the protoplasmic surface to the medium, it produces, primarily through some local process of electrolysis, a change – the critical or excitatory change – in the structure and electromotor properties of the surface-film, this change being apparently associated with an interruption of continuity or increased permeability; a new circuit then arises at the boundary between this newly altered or activated area and the adjacent still unaltered area; and by a repetition of this process at each new active-resting boundary as it is formed, a wave of chemical and physical alteration, associated with a local electrical circuit, travels over the surface of the irritable element. This wave constitutes the excitation-wave, or nerve impulse in the case of the nerve-axone. Since by its very nature this wave is always associated with a local electric current, it produces the effects of electrical stimulation wherever it extends, hence also in the irritable structure, e.g., muscle-cell, at which the axone terminates. This theory postulates an essential similarity in physicochemical properties and constitution between the surface-films of passive metals and the protoplasmic surface-films or plasma-membranes of the irritable living cells or cell-structures. Certain general resemblances are apparent: both types of film are water-insoluble, are formed by chemical alteration (typically involving oxidation) of the surface-layer of the metal or protoplasm, are impermeable or difficultly permeable to the electrolytes of the adjoining solution, and are subject to ready alteration under the influence of electric currents formed by local action (Lillie, 1919a : 259).

Ce modèle de Lillie qualifié de « nerf artificiel » a eu un succès incroyable puisqu'il est cité par presque tous les physiologistes avant la Seconde Guerre mondiale dans le contexte des premières mesures oscillographiques du potentiel d'action des nerfs. Le physiologiste français, Louis Lapicque, en a fait un compte rendu précis dans son ouvrage *La machine nerveuse* (1942) :

Un morceau de fer pur plongé dans une solution étendue (diluée) d'acide azotique y est vivement attaqué, et se dissout avec effervescence. Mais il n'est pas attaqué par l'acide concentré, et même il y devient inattaquable par l'acide étendu dans lequel on le transporte ensuite (par formation d'une couche d'oxyde) [...] R. Lillie est parti de ces données de la

> chimie classique pour réaliser un modèle de nerf. Après avoir passivé un fil de fer dans l'acide fort, on le transporte dans une solution, non pas étendue, mais de concentration moyenne. Lorsqu'on gratte, ou qu'on touche avec du zinc, une des extrémités de ce fil de fer, long de plusieurs décimètres, on voit immédiatement sa surface brillante se ternir et prendre une coloration brune pendant que se dégagent de fines bulles de gaz. L'attaque est ainsi saisissable à l'œil. D'abord localisée au point excité, on la voit aussitôt se déplacer rapidement le long du fil sous forme d'une tache, longue d'un à deux centimètres, qui atteint l'autre extrémité en une fraction de seconde, laissant derrière elle le fil brillant comme ci-devant. Après quelques secondes, on peut recommencer l'expérience avec le même résultat. Au moyen d'électrodes de platine plongées dans le bain acide au voisinage du fil, on peut dériver sur un galvanomètre le passage d'une onde électrique positive [...] Sur ce nerf artificiel, l'onde de positivité, qui est l'image de l'influx, se propage par le même mécanisme que l'influx sur le nerf naturel, à savoir un courant qui, alentour du conducteur, va de la surface en positivité d'action à la surface voisine en repos et l'excite (Lapicque, 1943 : 100-101).

Le modèle de Lillie possède certaines propriétés partagées par le nerf : même vitesse de conduction, rôle de la polarité électrique dans l'activation, phénomène reproductible mais présentant une période réfractaire[7], phénomène de conduction en saut (saltatoire). Alors que la période réfractaire a été observée immédiatement dans le nerf et le modèle, la conduction saltatoire anticipée ne fut démontrée expérimentalement que plus tard.

La pratique interdisciplinaire de Lillie concerne donc un modèle physique relevant de l'électrochimie de la catalyse étudiée par Ostwald. Lillie, le zoologiste, effectua lui-même des études quantitatives détaillées de son modèle physique et travailla dés lors comme un chimiste (Lillie, 1926b), en adoptant dans son laboratoire ses tiges de fer à la place d'animaux marins. Mais ce curieux mariage avait son intérêt. Lapicque rapporte que ce modèle fit comprendre aux physiologistes que la conduction de l'activation était la propagation d'une zone de dépolarisation de proche en proche et exerçant sur la zone adjacente le même effet que l'activation initiale à l'une des extrémités du fil. De plus, si les deux extrémités étaient activées en même temps, les ondes se propageant en sens inverse s'annulaient à leur rencontre à la manière d'un contre-feu. L'analogie tenait bon avec le nerf vivant. Mais comme l'on pouvait s'y attendre, Lillie fit un pas de trop en

[7] Il faut attendre un délai minimum (période réfractaire) après une première onde pour qu'une seconde puisse survenir à nouveau.

comparant l'effet du chloroforme sur le nerf artificiel et le nerf vivant en attribuant un effet « pharmacologique » à l'action sur le métal (Lillie, 1926b : 421). L'analogie fut également poussée trop loin encore dans la constitution des théories de la conduction nerveuse des années 1950 et 1960 fondées sur des mécanismes métaboliques d'oxydo-réduction en réalité trop lents pour rendre compte de la cinétique du potentiel d'action.

Malgré ces pièges, le modèle de nerf artificiel de Lillie présentait beaucoup d'intérêts divers. Il permettait d'oublier les analogies précédentes trompeuses qui ne reflétaient pas les propriétés de la conduction nerveuse. Il permettait surtout de tisser des analogies multiples entre propriétés similaires qualitativement et quantitativement (période réfractaire, vitesse de propagation, conduction saltatoire). De ce point de vue, il permit de penser d'une nouvelle manière une causalité entre les variations de semi-perméabilité des membranes et une dépolarisation se déplaçant de manière régénérative et auto-entretenue selon un schéma dans lequel la variation de semi-perméabilité elle-même était induite par une dépolarisation locale, selon ce qu'on nommera à cette époque le « cycle d'excitabilité ».

D'un point de vue historiographique plus large, notons que Lillie s'intéressa également à d'autres modèles physiques relatifs à des problèmes d'embryologie (Lillie, 1917), à la manière des travaux de Stéphane Leduc (1853-1939) (Fox-Keller, 2003). Pour Leduc comme pour Lillie, l'enjeu demeurait un combat contre un certain néovitalisme moderne du tournant du siècle qui traversera la Seconde Guerre mondiale : les phénomènes vivants reposent-ils sur des propriétés spécifiques ou seulement sur celles de la matière inerte ? E. Fox-Keller voit dans les travaux de Leduc une nouvelle manière de répondre à cette question par la construction de modèles analogiques qui valent en tant qu'explication. Mais le modèle de Lillie fut beaucoup plus subtile que les analogies physiques de Leduc. Ces dernières furent d'ailleurs très critiquées par ceux qui pensaient que les phénomènes d'osmose ne pouvaient expliquer les processus embryogéniques qui sont parmi les plus complexes du vivant. L'implication de l'osmose dans la perméabilité des membranes était plus réaliste et paraissait moins fantaisiste, puisqu'elle reposait sur une théorie chimique explicite. Les analogies de Lillie prirent la dimension d'un modèle qui, même s'il ne fut pas véritablement heuristique, marqua les esprits, chassa les

analogies douteuses, permit de mieux comprendre la nature de l'influx nerveux et anticipa certains concepts objectivés ultérieurement par de nouvelles techniques.

Même si Lillie voyait aussi dans son modèle la démonstration que la physico-chimie pouvait expliquer le vivant (Lillie, 1927 : 142), ses analogies quantitatives lui permirent d'aller là encore beaucoup plus loin que Leduc, y compris dans la réflexion philosophique. Reprenant pour l'attaquer le concept de Bergson de l'indétermination des phénomènes propres au vivant (Lillie, 1927 : 139), Lillie mentionne l'indétermination des phénomènes quantiques et des phénomènes stochastiques de certaines réactions explosives (Lillie, 1927 : 140). Il retourne, certainement sans aucune allusion au médecin anglais, à la métaphore de l'explosion de Willis (Lillie, 1927 : 142). Mais entre la réaction chimique aléatoire, comme les déflagrations spectaculaires qui peuvent survenir accidentellement dans les silos à grains, et le nerf vivant, Lillie peut produire une expérimentation originale quantitative sur son nerf artificiel (Lillie, 1927 : 143). Plongé dans une solution d'acide un peu plus diluée que d'ordinaire, des phénomènes spontanés de propagation d'attaque du fer par l'acide surviennent de manière aléatoire, avec une probabilité croissante proportionnelle à la dilution de l'acide et à la température. De même un nerf présente in vivo des excitations spontanées. L'analogie fonctionnait encore. Car dans le nerf artificiel de petites anfractuosités de la couche d'oxyde, qui surviennent lorsque l'acide n'est pas assez concentré, servent de site d'initiation pour une attaque acide qui se propage le long de la tige de fer. Dans le nerf vivant, les concentrations ioniques et la température ont aussi – nous le savons aujourd'hui – une influence sur l'ouverture stochastique et locale des canaux ioniques qui peut fonctionner comme des sites d'initiation d'un potentiel d'action. La réflexion de Lillie sur l'indétermination des phénomènes, fondée expérimentalement, ne fut heuristique en aucune façon, en accord avec l'opinion sévère mais réaliste de Canguilhem sur le rôle des analogies et des modèles dans la découverte en biologie (Canguilhem, 1968b). Mais le recours à l'électrochimie et l'usage de l'analogie comme pratique interdisciplinaire permirent à Lillie et à l'ensemble des physiologistes de penser d'une manière plus juste le phénomène complexe de l'influx nerveux constitutif de l'élaboration du neurone comme objet scientifique.

Conclusion

L'usage de la métaphore et de l'analogie comme pratique interdisciplinaire permet la constitution de modèles, au sens psychologique du terme, puisqu'ils permettent de penser la dynamique du domaine cible, du domaine de référence et de leurs relations. Le recours à cet usage s'interprète à la manière d'un « acte de langage » (John L. Austin), dont la fonction *performative* n'est pas un acte moteur, mais un « acte psychologique » d'éclaircissement et d'explication (eurêka). Il est fondamentalement un ressort de l'imagination confronté à la dialectique complexe de saisie du réel qui s'exprime librement dans la pensée de l'enfant et la pensée concrète (J. Piaget), le rêve tel qu'il est interprété par la psychanalyse, ou encore, par exemple, la « pensée par cas » en mathématique, soit dans toutes les dimensions de la cognition. La métaphore et l'analogie constituent en réalité un déplacement cognitif engendrant une représentation dynamique covariante d'une réalité qui est pensée par des moyens plus accessibles, c'est-à-dire par des représentations plus familières, plus concrètes et plus stables cognitivement, de manière à construire des représentations de leurs relations complexes gérées selon une logique propre. En somme, l'esprit constitue des « schémas de pensée » dynamiques comme il peut, et s'il n'y parvient pas, il le complète en déplaçant l' « objet de pensée ».

Ce modèle cognitif simple de la métaphore et de l'analogie permet d'interpréter l'acte interdisciplinaire lorsqu'un scientifique pense un problème qu'il ne peut expliquer dans son domaine, à l'aide d'un autre champ de connaissance. C'est là, nous semble-t-il, un moteur réel de l'interdisciplinarité qui repose généralement sur une certaine frustration, un « gouffre explicatif », et surtout une recherche de compréhension par la mobilisation d'une autre culture épistémique. Au-delà du simple usage des métaphores et des analogies, l'interdisciplinarité conçue comme un ensemble complexe de pratiques s'est développée en investissant de manière progressivement plus formelle le champ, pourtant irréductible aux domaines cible et de référence, de leurs relations. Dans cette forme plus mûre d'interdisciplinarité, ce champ permet de créer une troisième rationalité construite par des

concepts de constitution formels[8] (Barbara, 2010 ; Barbara, 2011). Dans les exemples analysés, ce champ est à peine esquissé par des particules identiques (Willis) ou des propriétés partagées (Lillie). Mais l'étude de ces usages de métaphores et d'analogies permettent de comprendre les commencements d'une histoire des pratiques interdisciplinaires et de leurs relations en offrant un cadre d'analyse d'épistémologie historique qui les éclaire et les rapproche de nos propres pratiques scientifiques dont on ne peut jamais être certain qu'elles soient toujours fécondes et entièrement irréprochables.

Remerciements : l'auteur remercie Chantal Barbara pour ses relectures.

Bibliographie

Ambrose, D., 1996. « Unifying theories of creativity: metaphorical thought and the unification process », *New Ideas in Psychol.*, vol. 14, n° 3, pp. 257-267.

Barbara J.-G., 2006, « Mais qui était Monsieur François Pourfour Du Petit (1664-1741) ? » *Lettre des neurosciences*, n° 31, pp. 4-6.

Barbara J.-G., 2008. « L'étude du vivant chez Georges Canguilhem : des concepts aux objets biologiques », in A. Fagot-Largeault, Cl. Debru, M. Morange, H.-J. Han (éds.), *Philosophie et médecine. En hommage à Georges Canguilhem*, Paris, Vrin, Collection : Histoire des Sciences – Étude.

Barbara J.-G., 2010, *La naissance du neurone*, Paris, Vrin, collection Mathesis.

Barbara J.-G., 2011, « La transdisciplinarité, concept et méthode : la leçon des neurosciences », in Cl. Debru (sous la direction de), *La Transdisciplinarité. Comment explorer les nouvelles interfaces*, Paris, Hermann, collection Vision des sciences.

Black M., 1962, « Metaphor », in A. Ortony (ed.), *Models and Metaphors*, Ithaca, Cornell University Press, 1962, pp. 25-47.

Bonhoeffer K.F., Gerischer H., 1948, « Uber periodische chemische reaktionen », *V.Z. Elektrochem*, n°51, p. 149.

[8] Par exemple, la « période réfractaire » est un cas particulier de la formalisation du rapport de deux activités (nerveuses ou électrochimiques) consécutives en fonction du délai temporel laissé entre elles.

Buser P., Debru C ., Kleinert A (éds.), *L'imagination et l'intuition dans les sciences*, Paris, Hermann.

Canguilhem G., 1968a, « Modèles et analogies dans la découverte en biologie », in *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, pp. 319-333

Canguilhem G., 1968b, « Le tout et la partie dans la pensée biologique », in *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, pp. 305-318.

Chang K.M., 2002, « Fermentation, Phlogiston and Matter Theory: Chemistry and Natural Philosophy in Georg Ernst Stahl's "Zymotechnia Fundamentalis" », *Early Science and Medicine*, vol. 7, n° 1, pp. 31-64.

Chizmadzhev Y.A., Pastushenko V.F., 1985, « Electrochemistry of the nervous impulse », in Supramaniam Srinivasan (ed.), *Comprehensive Treatise of Bioelectrochemistry*, New York, Plenum Press, , p. 381-444.

Durand-Richard M.-J., 2008, *L'analogie dans la démarche scientifique*, Paris, L'Harmattan.

Fox-Keller, E., 2000, « Models of and Models for: Theory and Practice in Contemporary Biology », *Philosophy of Science*, vol. 67, Supplement. Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers, pp. S72-S86.

Fox-Keller, E., 2003, *Making sense of life*, Harvard, Harvard University Press.

Gentner D, Jeziorski M., 1993 (1979), « The Shift From Metaphor to Analogy in Western Science », in A. Ortony (ed.), *Metaphor and Thought*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 447-480.

Heathcote H.L., 1907, « The passifying, passivity and actifying of iron », *J Soc Chem Ind*, n° 26, pp. 899–917.

Lapicque L., 1943, *La machine nerveuse*, Paris, Flammarion

Lillie R.S., 1909, « On the connection between stimulation and changes in the permeability of the plasma membranes of the irritable elements », *Science*, vol. 30, n° 764, pp. 245-249.

Lillie R.S., 1914, « Addresses at the dedication of the new buildings of the marine biological laboratory », *Science*, vol. 40, n° 1024, pp. 229-230.

Lillie R.S., 1917, «The formation of structures resembling organic growths by means of electrolytic local action in metals, and the general physiological significance and control of this type of action », *Biological Bulletin*, 33, 135-186.

Lillie R.S., 1918a, « Transmission of activation in passive metals as a model of the protoplasmic or nervous type of transmission », *Science*, vol. 48, n° 1229, pp. 51-60.

Lillie R.S., 1918b, « Comparative permeability of fertilized and unfertilized eggs », *Science*, vol. 47, n° 1206, pp. 147-149.

Lillie R.S., 1919a, « Resemblances between the properties of surface-films in passive metals and in protoplasm, I. », *Science*, vol. 50, n° 1289, pp. 259-262.

Lillie R.S., 1910b, « Resemblances between the properties of surface-films in passive metals and in living protoplasm, II. Action of salt solution and organic compounds. Antagonism », *Science*, vol. 50, n° 1296, 416-421.

Lillie R.S., 1927, « Physical indeterminism and vital action », *Science*, vol. 46, n° 1702, pp. 139-144.

O'Connor J.P.B., « Thomas Willis and the background to *Cerebri Anatome* », *Journal of the Royal Society of Medicine*, n° 96, pp. 139–143.

Ortony A. (ed.), 1979, *Metaphor and thought*, Cambridge, Cambridge University Press.

Ostwald W., 1900., « Periodische Erscheinungen bei der Auflösung des Chrom in Säuren », *Zeit physic Chem*, n°35, pp. 33-76, pp. 204-256 (« Phénomènes périodiques de la dissolution du chrome dans les acides »).

Pickering, N., 1999, « Metaphors and models in science », *Theor Med Bioeth*, vol. 20, n° 4, pp. 361-375.

Pourfour du Petit F., 1710, *Lettres d'un médecin des hôpitaux du Roy [F. Pourfour Du Petit] à un autre médecin de ses amis...*, Namur, C. G. Albert.

Ricœur, P., 1975, *La métaphore vive*, Paris, Seuil.

Werrett S., *Fireworks: pyrotechnic arts and sciences in European history*, Chicago, University of Chicago Press.