

Fonctions : Normativité, Téléologie et Organisation

[Dans Ricqlès, A., Gayon, J., en collaboration avec Mossio, M. (Eds.) (2009). *Épistémologie de la catégorie de fonction : des sciences de la vie à la technologie*, Presses Universitaires de France].

Matteo Mossio	Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences et des Techniques CNRS/Université Paris 1/ENS
Cristian Saborido	Department of Logic and Philosophy of Science University of the Basque Country
Alvaro Moreno	Department of Logic and Philosophy of Science, University of the Basque Country

1. Introduction

Au cours des quatre dernières décennies, le concept de fonction a fait l'objet d'un débat de plus en plus riche dans les domaines de la Philosophie des Sciences et de la Philosophie de la Biologie (voir par exemple les recueils récents de Ariew, Cummins et Perlman 2002; Buller 1999; Allen, Bekoff et Lauder 1997). La raison fondamentale de cet intérêt réside dans le fait que le concept de fonction semble requérir une naturalisation de ses dimensions *téléologique* et *normative* qui ne semblent pas avoir droit de cité dans l'explication scientifique. D'une part, l'attribution d'une fonction à un trait semble introduire une dimension "téléologique" dans la logique du discours scientifique, dans la mesure où la fonction du trait contribuerait à expliquer l'existence même du trait, en renversant ainsi l'ordre entre cause et effet (Buller 1999:1-7). D'autre part, le concept de fonction possède une dimension normative, car il fait référence à un (ou plusieurs) effets que le trait est *censé* produire, en dépassant ici encore la causalité efficiente classique (Hardcastle 2002 : 144).

Dans ce chapitre, nous développons une approche organisationnelle des fonctions, qui vise à fournir un fondement adéquat à leurs dimensions téléologiques et normatives en interprétant les fonctions comme une classe particulière de relations causales à l'œuvre dans l'organisation des systèmes biologiques. En particulier, l'approche organisationnelle met en avant l'idée que les fonctions sont intrinsèquement liées à deux propriétés constitutives des systèmes biologiques, leur *clôture* et *différentiation* organisationnelles. Bien que cette approche puisse s'appliquer aussi bien aux fonctions des organismes biologiques que des artefacts, nous nous limiterons ici à la première catégorie de systèmes, en essayant de clarifier où réside sa contribution au débat philosophique sur le concept de fonction.

2. Approches étiologiques et dispositionnelles : un aperçu critique

Le débat philosophique sur les fonctions biologiques a abordé à la fois le problème de la téléologie et celui de la normativité, et un grand nombre d'approches ont été proposées pour rendre le concept de fonction à la fois explicatif et scientifiquement acceptable.

D'un point de vue très général, les approches existantes peuvent être regroupées en deux traditions principales. L'approche majoritaire, dite « étiologique », dont la première formulation est due à Wright (1973), définit la fonction d'un trait en référence à son étiologie, c'est-à-dire son histoire causale : les fonctions d'un trait correspondent aux effets passés d'un trait qui expliquent causalement sa présence actuelle. En particulier, dans sa version la plus répandue (« Selected Effect Theory » ou « SET ») l'approche étiologique fait appel à un processus causal historique-sélectif, et

définit la fonction d'un trait comme étant celle de produire l'effet pour lequel les prédécesseurs du même type de trait ont été retenus par la sélection naturelle (Godfrey Smith 1994; Millikan 1989; Neander 1991). La SET donne ainsi une interprétation acceptable et élégante de la téléologie, car elle explique l'existence d'un trait individuel comme étant la conséquence des effets par des prédécesseurs du même trait. En même temps, elle fournit une justification de la normativité : les traits fonctionnels sont censés produire les effets pour lesquels leur type a été sélectionné.

L'élégance de l'interprétation étiologique est indissociable de son caractère historique, dans la mesure où les attributions de fonctions ne concernent pas l'activité ou contribution *présente* d'un trait dans un organisme, mais le fait d'avoir une certaine histoire sélective. Dans la perspective étiologique, en d'autres termes, une fonction ne fait pas référence à l'organisation courante de l'organisme, car il serait impossible d'attribuer des fonctions sans connaître l'histoire sélective du système. Cette implication problématique des théories étiologiques a été débattue, et elle est vue par un certain nombre d'auteurs comme étant leur faiblesse principale (Boorse 1976; Cummins 2002; Davies 2000).

L'autre importante tradition, que nous nommons ici « dispositionnelle », regroupe un ensemble très varié de théories inspirées à l'analyse développée par Nagel (1977), incluant la « Causal Role Theory » (Cummins 1975; Craver 2001; Davies 2001), la « Goal Contribution Approach » (Adams 1979; Boorse 2002 and 1976) et la « Propensity View » (Bigelow and Pargetter 1987; Canfield 1964; Ruse 1971). Toutes ces théories, malgré leurs différences théoriques considérables, partagent un fond théorique commun, qui consiste à rejeter la dimension téléologique comme étant constitutive du concept de fonction. Selon ces théories, en d'autres termes, les fonctions d'un trait n'expliquent pas son existence en faisant appel à ses effets. Simplement, les fonctions constituent une classe particulière d'effets ou « dispositions » produits par un trait qui contribuent à une capacité distinctive de l'organisme. Le débat au sein de la tradition dispositionnelle se focalise sur la manière dont il convient de définir et restreindre les contributions et les capacités pour lesquelles les attributions fonctionnelles paraissent adéquates, et donc de se limiter à une justification de ce qu'un trait fonctionnel est « censé faire », ou sa normativité.

En opposition flagrante avec la nature historique des approches étiologiques, la perspective dispositionnelle se concentre sur l'organisme présent, en essayant de comprendre comment le langage fonctionnel décrit une classe spécifique de relations causales à l'œuvre dans le système que l'on décrit. Toutefois, le débat philosophique a montré que la perspective dispositionnelle ne parvient pas à élaborer une définition suffisamment restreinte des fonctions (Millikan 1989 ; Bedau 1992 ; McLaughlin 2001). Par conséquent, les définitions dispositionnelles se révèlent systématiquement sous-déterminées, en admettant des attributions fonctionnelles à des classes de systèmes et capacités pour lesquels le discours fonctionnel ne semble ni commun ni pertinent.

L'état actuel du débat semble donc montrer que les théories sur les fonctions biologiques se trouvent face à un dilemme. D'une part, les théories étiologiques sont irrémédiablement historiques, et incapables de justifier comment les attributions fonctionnelles peuvent se référer à des propriétés *présentes* des systèmes biologiques. D'autre part les théories dispositionnelles, tout en interprétant les fonctions comme contributions présentes des parties à l'activité de l'organisme, proposent des définitions trop larges de ce qui compte comme une fonction. Selon un certain nombre d'auteurs, la solution du dilemme consiste à conclure qu'il n'existe aucune définition unifiée des fonctions et que les définitions étiologiques et dispositionnelles doivent être vues comme étant distinctes et complémentaires (Godfrey-Smith 1994; Millikan 1989). D'autres, comme Kitcher (1993), et Walsh et Ariew (1996) ont soutenu qu'en réalité il existe un concept unique de fonction, duquel les versions étiologiques et dispositionnelles seraient des cas particuliers, chacun desquels s'appliquerait à des ensemble différents de traits et systèmes.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons proposer une troisième solution. Nous défendrons l'idée qu'il existe une définition unique de fonction biologique, qui *remplace* les interprétations étiologiques et dispositionnelles et qui permet de rendre compte de l'ensemble des cas pour lesquels

on a utilisé jusqu'ici alternativement une définition étiologique ou dispositionnelle.

3. L'approche organisationnelle des fonctions biologiques

L'objectif théorique fondamental de l'approche organisationnelle des fonctions (AOF) consiste à formuler une interprétation du concept de fonction qui soit capable de rendre compte de sa dimension à la fois téléologique et normative, tout en caractérisant les fonctions comme les contributions *actuelles* d'un trait à l'organisation constitutive de l'organisme.

Dans la perspective d'AOF, le fondement épistémologique du concept de fonction réside dans l'existence d'une classe de systèmes dont l'activité est orientée, du moins en partie, vers la préservation de leur propre identité et cohérence. En particulier, la fonction (ou les fonctions) d'un processus (ou, plus généralement, d'une relation causale) fait référence à la production d'un effet duquel dépend, de manière plus ou moins directe, l'existence du système qui produit ce même processus. Ainsi, le défi philosophique d'AOF consiste à justifier l'idée que l'organisation des systèmes biologiques possède à elle seule les propriétés nécessaires permettant la génération de la téléologie et de la normativité constitutives des fonctions.

Pour atteindre cet objectif philosophique ambitieux, AOF s'appuie sur un cadre scientifique et théorique – développé au cours des dernières décennies dans les domaines de la Biologie Théorique et de la Théorie des Systèmes Complexes – qui met en avant une compréhension de l'organisation des organismes vivants en termes d'*automaintien*. En développant une idée initialement proposée par Christensen et Bickhard (2002), AOF interprète les systèmes biologiques comme étant une classe spécifique de systèmes automaintenus, caractérisée par deux propriétés constitutives, leur *clôture* et *différentiation* organisationnelles. Dans la suite de cette section, nous tâcherons de montrer que les systèmes biologiques, en tant que systèmes clos et différenciés, possèdent en effets les propriétés nécessaires pour fonder les attributions fonctionnelles aux composantes de leur organisation constitutive.

3.1. Clôture : téléologie et normativité

Au sens le plus large, une vaste gamme de systèmes physico-chimiques peuvent être décrits comme des systèmes automaintenus. Leur manifestation minimale est connue sous le nom de "structures dissipatives", c'est-à-dire des systèmes auto-organisés loin de l'équilibre thermodynamique (Nicolis et Prigogine 1977; Glansdorff et Prigogine 1971 ; Nicolis 1989). Les structures dissipatives sont des systèmes dans lesquels un grand nombre d'éléments microscopiques adoptent un patron (une « structure ») macroscopique ordonné lorsque certaines conditions au bord sont satisfaites et, en particulier, en présence d'un flux spécifique de matière et énergie. En retour, le patron macroscopique exerce une contrainte « descendante » sur la dynamique microscopique, en contribuant au maintien du flux de matière et énergie qui permet à cette dynamique de continuer à exister (Ruiz-Mirazo 2001: 59). Un exemple standard de structure dissipative est la flamme d'une bougie. Dans ce système, le processus de combustion génère un patron macroscopique (la flamme) qui contraint les réactions chimiques microscopiques. En particulier, la flamme maintient la température au-dessus du seuil de combustion, vaporise la cire, induit la convection (qui récupère l'oxygène et expulse les déchets de la combustion) et donc, plus en général, contribue à maintenir les conditions loin de l'équilibre thermodynamique requises pour l'existence des dynamiques microscopiques. En retour, les dynamiques microscopiques génèrent la combustion et donc la flamme elle-même. Ainsi, la flamme travaille pour maintenir les conditions lui permettant de travailler (Bickhard 2000).

Une structure dissipative peut être décrite comme étant soumise à ce que nous appelons une *clôture organisationnelle*, c'est-à-dire une boucle causale entre un patron émergent macroscopique qui contribue à maintenir les conditions loin de l'équilibre thermodynamique dans lesquelles les processus microscopiques peuvent avoir lieu et, récursivement régénérer le patron macroscopique.

Une structure dissipative est donc un système automaintenu: il travaille pour maintenir (au moins certaines de) les conditions de son existence. En raison de la clôture, l'organisation des systèmes automaintenus est une condition nécessaire (quoique, bien sûr, non suffisante : la clôture n'implique pas l'indépendance) d'elle-même.

L'automaintien est un phénomène très répandu dans la nature. À des niveaux très différents de complexité, un spectre très vaste de systèmes physiques (cellules de Bénard, flammes, ouragans) et chimiques (systèmes oscillatoires, réseaux autocatalytiques) représentent autant d'exemples de systèmes automaintenus soumis à clôture organisationnelle. En particulier, les systèmes biologiques représentent une classe paradigmatique de systèmes automaintenus extrêmement complexes. En effet, les systèmes biologiques contribuent de différentes manières à maintenir un échange constant d'énergie et matière avec l'environnement, ce qui en retour est une condition pour maintenir leur organisation (leur métabolisme).

La première hypothèse fondamentale d'AOF est que la clôture organisationnelle fonde les dimensions téléologique et normative des fonctions. D'une part, la clôture justifie le fait d'expliquer l'existence d'un processus en faisant référence à ses effets: un processus, lorsqu'il est soumis à clôture dans un système automaintenu, contribue en fait au maintien de certaines des conditions requises pour sa propre existence. À la question: "Pourquoi X existe-t-il dans ce système?" il est légitime de répondre "Parce qu'il fait Y". Dans le cas de la flamme, par exemple, l'existence des réactions microscopiques de combustion est expliquée (du moins en partie) en faisant appel à leurs effets, et en particulier à la production du patron macroscopique (la flamme) qui circulairement maintient les conditions dans lesquelles les réactions microscopiques de combustion peuvent avoir lieu. D'autre part, la clôture fonde la normativité. L'activité d'une composante ou processus soumis à clôture acquiert une valeur intrinsèque pour lui-même, dans la mesure où sa propre existence dépend de son activité. Dans ce sens, la clôture génère un critère naturalisé pour déterminer ce que le système est « censé » faire. En effet, l'organisation du système, et tous ses processus constitutifs, *doit* se réaliser d'une manière spécifique, dans le sens que, *sinon*, elle cesserait d'exister. L'activité du système devient sa propre norme, ou, plus précisément, les conditions d'existence de ses processus constitutifs deviennent la norme de son activité.

La clôture organisationnelle fournit ainsi un fondement naturalisé pour la téléologie et la normativité dans l'organisation courante d'un système automaintenu. La contribution des processus constitutifs au maintien du système détermine de manière intrinsèque et en même temps (certaines de) leurs conditions d'existence et les normes auxquelles ils sont soumis.

3.2. *Différentiation*

Bien qu'indispensable, la clôture n'est toutefois pas suffisante pour fonder les attributions fonctionnelles dans l'organisation des systèmes. Les structures dissipatives physico-chimiques, telles que la flamme d'une bougie, tout en étant soumises à clôture, ne requièrent pas d'attribuer des fonctions à ses composantes. Dans la perspective d'AOF, le concept de fonction, outre que la téléologie et la normativité, contient une troisième dimension constitutive, que nous nommons *différentiation organisationnelle*. Un système automaintenu est organisationnellement différencié s'il produit des structures différentes et localisables, chacune desquelles étant à l'origine d'une contribution spécifique au maintien de l'organisation globale.

Pour comprendre la relation entre différenciation et fonctions, il convient de distinguer le concept de différenciation de celui de *complexité matérielle*, qui fait référence à la variété des composantes matérielles d'un système. Bien que, dans certains cas, les structures dissipatives physico-chimiques puissent être matériellement très complexes, leurs composantes ne sont pas décrites comme possédant des fonctions. La raison réside dans le fait que, dans ces systèmes, toute composante « fait la même chose » dans le sens de contribuer à l'émergence du même patron macroscopique. Dans l'exemple de la flamme, toute composante contribue à générer la flamme, qui constitue la seule structure macroscopique exerçant une contrainte circulaire sur les dynamiques

microscopiques. Les composantes matérielles n'ont pas *de* fonction, parce qu'il n'est pas possible de distinguer entre *des* fonctions. La deuxième hypothèse fondamentale d'AOF affirme donc que l'attribution fonctionnelle se base sur la différenciation organisationnelle, qui requiert non seulement qu'un ensemble de composantes matérielles différentes soit recrutées et contraintes à contribuer à l'automaintenance, mais que ces composantes soient générées à l'intérieur de et par l'organisation elle-même.

Dans la nature, l'exemple le plus emblématique de systèmes organisationnellement clos et différenciés sont les organismes vivants et, plus spécifiquement, leur métabolisme. Le métabolisme est constitué par un réseau de relations régulées par les enzymes, régénérés par le même réseau qu'ils contribuent à réguler. L'organisation métabolique n'est pas globalement distribuée et indifférenciée. Les systèmes vivants possèdent et génèrent des niveaux hiérarchiques, des mécanismes de régulation différenciés et des processus temporellement découplés, tous contribuant de manière différente à la maintenance globale du système (Wimsatt 2002). L'analyse des réseaux métaboliques en tant que systèmes organisationnellement clos et différenciés a été mise en avant depuis plus de quatre décennies par des pionniers tels que Rosen (1991), Varela et Maturana (1974, 1979), Pattee (1973) et Ganti (2003). À partir des formulations de ces auteurs, cette perspective a été progressivement développée dans différentes disciplines, telles que la Biologie Théorique, la Biochimie et la Biologie synthétique (Luisi 2006; Kauffman 2000; Cornish-Bowden et al. 2007).

Dans la mesure où leur organisation métabolique peut être décrite comme un réseau de processus clos et différencié, les systèmes biologiques possèdent toutes les propriétés requises pour l'analyse fonctionnelle de leurs composantes du point de vue d'AOF.

4. Fonctions

Venons maintenant au concept de fonction. Dans AOF, un type de trait T a une fonction si et seulement si il est soumis à clôture organisationnelle C dans un système automaintenu différencié S . Cette définition implique de satisfaire trois conditions différentes. Ainsi, un trait T a une fonction si et seulement si:

C_1 : T contribue au maintien de l'organisation O de S ;

C_2 : T est produit et maintenu sous quelques contraintes exercées par O ;

C_3 : S est organisationnellement différencié.

Par exemple, le cœur a la fonction de pomper le sang parce que (C_1) pomper le sang contribue au maintien de l'organisme en permettant la circulation du sang, ce qui à son tour permet de faire affluer les nutriments aux cellules et d'évacuer les déchets, de stabiliser la température et le PH, et ainsi de suite. En même temps (C_2), le cœur est produit et maintenu par l'organisme, dont l'intégrité globale est une condition pour l'existence du cœur. Enfin (C_3), l'organisme est différencié, car il produit un grand nombre de structures qui contribuent de manière différente au maintien du système.

Dans la perspective d'AOF, la définition organisationnelle *remplace* les définitions dispositionnelles et étiologiques, car elle rend compte à la fois de la téléologie et de la normativité des fonctions tout en étant non-historique. En effet, C_1 requiert que le trait fonctionnel contribue au maintien de l'organisation actuelle, alors que C_2 impose que le trait soit généré par l'organisation même à laquelle il contribue. Par conséquent, cette définition rend compte à la fois de ce qu'un trait fait et de ce qu'il est censé faire dans le système auquel il appartient, et de son existence au sein de ce système. La définition organisationnelle possède un certain nombre d'implications conceptuelles importantes. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous en discutons quelques-unes ici.

En premier lieu, la condition C_1 admet deux variantes distinctes, ce qui permet de tracer une distinction fine entre l'idée de « contribuer au maintien » et « être indispensable ». Les systèmes

automaintenus peuvent être regroupés dans des classes, selon le type d'organisation qu'ils possèdent. Dans ce sens, nous pouvons distinguer entre des flammes et des ouragans, entre des animaux et des plantes, entre des hommes et des chats, et ainsi de suite. Alors que chaque classe est identifiée par un ensemble minimal de processus et contraintes communs, chaque membre individuel d'une classe peut instancier des organisations plus ou moins complexes, en termes de processus, contraintes et capacités constitutives. Nous appelons *régime d'automaintien* chaque organisation spécifique qu'un membre d'une classe peut adopter sans cesser d'exister ou perdre l'appartenance à cette classe. Comme chaque classe peut (mais pas nécessairement) admettre plusieurs régimes d'automaintien, AOF admet explicitement la possibilité qu'un trait puisse réaliser *plusieurs fonctions* au sein du même individu. En termes organisationnels, si un trait a une fonction, alors le régime d'automaintien spécifique qu'il contribue à maintenir le nécessite comme une composante indispensable. Cependant, pas tous les traits fonctionnels contribuent à tous les régimes d'automaintien qu'un système peut adopter, ce qui implique qu'un système peut parfois compenser le dysfonctionnement d'une composante en adoptant un régime d'automaintien différent, dans lequel la contribution du trait dysfonctionnel n'est plus requise. En revanche, certains traits fonctionnels sont indispensables, dans le sens qu'ils produisent un effet requis par tous les régimes d'automaintien qu'un membre d'une classe peut adopter.

Deuxièmement, AOF est en mesure de tracer une distinction conceptuelle entre *fonctionnalité* et *utilité*, ce qui représente un objectif majeur de toute théorie des fonctions. Alors que les fonctions sont la classe de contributions qui satisfont à la fois C_1 , C_2 et C_3 , les contributions « utiles » sont celles qui satisfont C_1 et C_3 , mais pas C_2 . Ainsi, un trait est utile s'il contribue à maintenir un système organisationnellement clos et différencié, sans pour autant être produit par ce même système. Dans ce sens, un grand nombre d'entités de nature très variée, telles que l'oxygène, la nourriture ou la gravité, sont utiles en termes organisationnels sans avoir de fonction. Bien entendu, au même titre que les traits fonctionnels, les traits utiles peuvent être indispensables ou non, suivant le régime d'automaintien auquel ils contribuent.

Troisièmement, AOF fournit un critère théorique pour distinguer les fonctions des dysfonctions. Une dysfonction apparaît lorsqu'un trait produit par le système ne parvient pas à réaliser une de ses fonctions dans sa classe d'automaintien. Un trait dysfonctionnel est donc un trait qui satisfait C_2 et C_3 mais pas C_1 . Les fonctions sont définies en relation avec un régime spécifique d'automaintien dans une classe spécifique. Par conséquent, pour interpréter un effet neutre ou délétère d'un trait comme étant une dysfonction dans un individu, il faut que l'organisation de cet individu appartienne à un régime d'automaintien spécifiable dans une classe particulière, dans lesquels la ou les fonctions du trait sont définies.

En dernier lieu, il est intéressant d'examiner une objection possible à AOF, selon laquelle cette approche ne peut pas rendre compte des fonctions des traits reproductifs. Les traits reproductifs, semblerait-il, possèdent bien une fonction dans les organismes, même s'ils ne sont pas soumis à clôture, car ils ne contribuent pas au maintien du système qui les produit. Cela semble constituer un contre-exemple de taille à la définition de fonction proposée par AOF. En réalité, AOF affirme explicitement que les traits reproductifs ne sont soumis à clôture dans aucun des systèmes automaintenus individuels (que ce soit le système reproducteur ou le système reproduit) et que, par conséquent, ils ne sont fonctionnels dans aucun de ces systèmes. Pourtant, il existe une explication alternative. Dans une perspective organisationnelle, la stratégie explicative consiste à expliquer les attributions fonctionnelles aux traits reproductifs en faisant appel à des systèmes automaintenus *de second ordre*, composés d'un ensemble de systèmes automaintenus individuels, dans lesquels les traits reproductifs pourraient être soumis à clôture.

Malgré le fait qu'une théorie des systèmes automaintenus de second ordre n'existe pas à l'heure actuelle, l'idée, nous semble-il, est digne de considération. En fait, les organismes individuels appartiennent à des systèmes *historiques* d'ordre supérieur, dans lesquels les individus sont continuellement reproduits à travers les générations. En même temps, les organismes appartiennent à des systèmes *écologiques* d'ordre supérieur, c'est-à-dire des réseaux d'interactions qui

contraignent certaines des conditions d'existence de chaque individu. Dans les deux cas, une forme de clôture semble exister entre l'individu et le système d'ordre supérieur, que ce soit historique et/ou écologique. Dans ce sens, les deux types de systèmes d'ordre supérieur sont des candidats potentiels au statut de système automaintenu de second ordre, duquel les individus constitueraient des parties fonctionnelles. En particulier, les traits reproductifs seraient soumis à clôture dans l'organisation des systèmes de second ordre, et auraient donc une fonction.

Bien entendu, une explication détaillée des fonctions reproductives nécessite l'élaboration d'une théorie adéquate des « systèmes automaintenus de second ordre ». Cependant, AOF possède déjà les ressources théoriques pour capturer la nature *sui generis* des fonctions reproductives parmi l'ensemble de toutes les fonctions biologiques.

5. Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons esquissé une approche organisationnelle dans laquelle les fonctions biologiques sont définies en tant que relations causales soumises à clôture dans les systèmes vivants, interprétés comme l'exemple le plus emblématique de systèmes automaintenus organisationnellement clos et différenciés. En développant des idées proposées précédemment par Christensen et Bickhard (2002) et McLaughlin (2001), nous avons soutenu que cette approche fonde les dimensions téléologiques et normatives des fonctions dans l'organisation présente des organismes, dans la mesure où elle fournit à la fois une explication de l'existence du trait fonctionnel et identifie non arbitrairement les normes auxquelles les fonctions sont censées obéir. Nous avons suggéré que, en raison de ces propriétés, l'approche organisationnelle peut combiner les perspectives étiologiques et dispositionnelles dans un cadre théorique unifié.

6. Bibliographie

1. Adams, Frederik R. (1979), "A goal-state theory of function attributions", *Canadian Journal of Philosophy*, 9, p. 493-518.
2. Allen, Colin, Bekoff, Mark & Lauder, George V. (Eds.) (1998), *Nature's Purpose*, Cambridge, MA, MIT Press.
3. Ariew, André R., Cummins, Robert & Perlman, Mark (Eds.) (2002), *Functions*, Oxford, Oxford University Press.
4. Bedau, Mark A. (1992), "Goal-Directed Systems and the Good", *The Monist*, 75, p. 34-49.
5. Bickhard, Mark H. (2000), "Autonomy, Function, and Representation", *Communication and Cognition - Artificial Intelligence*, 17, 3-4, p. 111-131.
6. Bigelow, John & Pargetter Robert (1987), "Functions", *Journal of Philosophy*, 84, p. 181-196. Republié dans: D.J. Buller, *Function, Selection, and Design*, Albany, New York, SUNY Press, 1999, p. 97-114.
7. Boorse, Christopher (1976), "Wright on Functions", *Philosophical Review*, 85, p. 70-86.
8. Boorse, Christopher (2002), "A Rebuttal on Functions", dans A., R. Ariew, R. Cummins and M. Perlman (Eds.), *Functions*, Oxford, Oxford University Press, p. 63-112.
9. Buller, David J. (1999), *Function, Selection, and Design*, Albany, New York, SUNY Press.
10. Canfield, John (1964), "Teleological explanation in biology", *British Journal for the Philosophy of Science*, 14, p. 285-295.
11. Christensen, Wayne D. & Bickhard, Mark H. (2002), "The Process Dynamics of Normative Function", *The Monist*, 85, 1, p. 3-28.

12. Cornish-Bowden, Athel, Cárdenas, Maria Luz, Letelier, Juan Carlos & Soto-Andrade, Jorge (2007), "Beyond reductionism: metabolic circularity as a guiding vision for a real biology of systems", *Proteomics*, 7, p. 839-845.
13. Craver, Carl F. (2001), "Role functions, mechanisms, and hierarchy", *Philosophy of Science*, 68, p. 53-74.
14. Cummins, Robert (1975), "Functional analysis", *Journal of Philosophy*, 72, p. 741-765. Republié dans D.J. Buller, *Function, Selection, and Design*, Albany, New York, SUNY Press, 1999, p. 57-83.
15. Cummins, Robert (2002), "Neo-Teleology", dans A., R. Ariew, R. Cummins and M. Perlman (Eds.), *Functions*, Oxford, Oxford University Press, p. 157-172.
16. Davies, Paul S. (2000), "Malfunctions", *Biology and Philosophy*, 15, p. 19-38.
17. Davies, Paul S. (2001), *Norms of Nature. Naturalism and the Nature of Functions*, Cambridge, MIT Press.
18. Gánti, Tibor (2003), *The principles of life*, With a commentary by J. Griesemer and E. Szathmáry, Oxford, Oxford University Press.
19. Glansdorff, Paul & Prigogine, Ilya (1971), *Thermodynamics of structure, stability and fluctuations*, London, Wiley.
20. Godfrey-Smith, Peter (1994), "A modern history theory of functions". *Noûs*, 28, p. 344-362. Republié dans D.J. Buller, *Function, Selection, and Design*, Albany, New York, SUNY Press, 1999, p. 199-220.
21. Hardcastle, Valerie G. (2002), "On the normativity of functions", dans A., R. Ariew, R. Cummins and M. Perlman (Eds.), *Functions*, Oxford, Oxford University Press, p. 144-156.
22. Kauffman, Stuart (2000), *Investigations*, Oxford, Oxford University Press.
23. Kitcher, Philip (1993), "Function and design", *Midwest Studies in Philosophy*, 18, p. 379-397.
24. Luisi, Pierluigi (2006), *The Emergence of Life: From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge, Cambridge University Press.
25. McLaughlin, Peter (2001), *What Functions Explain. Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*, Cambridge, Cambridge University Press.
26. Millikan, Ruth G. (1989), "In defense of proper functions", *Philosophy of Science*, 56, p. 288-302.
27. Nagel, Ernst (1977), "Teleology revisited", *Journal of Philosophy*, 74, p. 261-301.
28. Neander, Karen (1991), "Function as selected effects: The conceptual analyst's defense", *Philosophy of Science*, 58, p.168-184.
29. Nicolis, Gregoire, & Prigogine, Ilya (1977), *Self-Organisation in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuation*, New York, Wiley.
30. Nicolis, Gregoire (1989), "Physics of far-from-equilibrium systems and self-organisation", dans P. Davies, (Ed.), *The new physics*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 316-347.
31. Pattee, Howard H. (1973), "The Physical Basis and Origin of Hierarchical Control", dans H.H. Pattee (Ed.), *Hierarchy Theory*, New York, Braziller, p. 73-108.
32. Rosen, Robert (1991), *Life itself: A comprehensive inquiry into the nature, origin and fabrication of life*, New York, Columbia Univ. Press.
33. Ruiz-Mirazo, Kepa (2001), *Physical conditions for the appearance of autonomous systems with open-ended evolutionary capacities*, Thèse de Doctorat, Université du Pays Basque, Espagne.

34. Ruse, Michael (1971), "Functional statements in biology", *Philosophy of Science*, 38, p. 87-95.
35. Varela, Francisco J. (1979), *Principles of Biological Autonomy*, New York, North Holland.
36. Varela, Francisco, Maturana, Humberto & Uribe, Ricardo (1974), "Autopoiesis: The Organisation of Living Systems, its characterization and a model", *BioSystems*, 5, p. 187-196.
37. Walsh, Denis M. & Ariew André (1996), "A taxonomy of functions", *Canadian Journal of Philosophy*, 26, p. 493-514. Republié dans D.J. Buller, *Function, Selection, and Design*, Albany, New York, SUNY Press, 1999, p. 257-279.
38. Wimsatt, William (2002), Functional Organisation, Functional Inference, and Functional Analogy? Dans : A., R. Ariew, R. Cummins and M. Perlman (Eds.), *Functions*, Oxford, Oxford University Press, p. 174-221.
39. Wright, Larry (1973), Functions, *Philosophical Review*, 82, p. 139-168.