

ENTRE L'AIR DU TEMPS ET LES RIGUEURS DE LA LOGIQUE DANS LA RECHERCHE VÉTÉRINAIRE : AVEC FEYERABEND, PEIRCE, POPPER, LAKATOS ET KUHN

BETWEEN THE ZEITGEIST AND THE RIGOURS OF LOGIC IN VETERINARY RESEARCH: WITH FEYERABEND, PEIRCE, POPPER, LAKATOS AND KUHN

Par Jacques CABARET¹ 

(Manuscrit reçu le 11 novembre 2023, accepté le 6 décembre 2024)

RÉSUMÉ

Les activités de recherche ont souvent été présentées comme intemporelles et seulement soumises aux rigueurs de la logique et de l'objectivité. Nous montrons avec Kuhn que l'air du temps fait partie de la dynamique de recherche. La logique et l'organisation des sciences ne sont pas des obligations comme l'indique Feyerabend, favorable à une recherche très individuelle et « anarchiste » (Ni Dieu ni maître). À l'inverse, Popper et Lakatos proposent des manières de faire la science organisées et fondées sur la déduction essentiellement. Popper, avec une méthode hypothético-déductive, a mis en exergue que l'on pouvait réfuter avec certitude (falsification) mais prouver que temporairement. Lakatos s'est rapproché de l'activité du chercheur en proposant une méthode pour les programmes de recherche. Elle repose sur la construction d'un noyau dur de connaissances et théories que l'on ne modifie pas (non réfutable) et un glacis périphérique qui sera modifié (réfutable) suivant les résultats (glacis protecteur). Cette méthode a été utilisée en parasitologie vétérinaire par exemple. Feyerabend, Popper et Lakatos pensaient que le progrès scientifique augmente progressivement avec le temps, de manière linéaire, alors que Kuhn y voit une évolution par bonds, avec une science normale routinière suivie par une science révolutionnaire qui deviendra normale avec le temps, et ainsi de suite. Ces logiques et méthodes satisfont une partie de la biologie. L'abduction, qui est une autre logique proposée par Peirce, convient souvent mieux pour les recherches en biologie, par exemple en systématique phylogénétique. Le recours aux concepts d'autopoïèse de Maturana (système toujours en action avec son environnement) et d'énaactance de Varela (action d'adaptation d'un système situé à un moment et dans un lieu) a surtout été utilisé en comportement animal. En fait, les recherches en sciences vétérinaires n'ont pas une spécificité de méthode particulière par rapport aux autres sciences de la biologie. Toutefois, l'utilisation d'animaux pour des faits expérimentaux, ce qui est propre aux sciences vétérinaires, implique une vigilance éthique et une nécessité d'explication vers le public.

Mots-clés : recherche vétérinaire, déduction, induction, abduction, philosophie des sciences

1 - Ex-Directeur de recherches INRAE, SantéSocioVéto, 8 place Carré de Busserolle, 37100 Tours, France.
Courriel : jcabaret37@gmail.com



ABSTRACT

Research activities have often been presented as timeless and subject only to the rigours of logic and objectivity. We show with Kuhn that the zeitgeist is part of the research dynamic. Logic and the organisation of science are not obligations, as Feyerabend stated, who favours highly individual and “anarchist” research (*Ni Dieu ni maître*), points out. In contrast, Popper and Lakatos propose organised ways of doing science, based essentially on deduction. Popper, using a hypothetico-deductive method, emphasised that it was possible to refute with certainty (falsifiability) but only temporarily prove. Lakatos came closer to the researcher's activity by proposing a method for research programmes. It is based on the construction of a hard core of knowledge and theories that cannot be modified (non-refutable) and a peripheral belt that will be modified (refutable) depending on the results (protective belt). This method has been used in veterinary parasitology, for example. Feyerabend, Popper and Lakatos believed that scientific progress increases progressively over time, in a linear fashion, whereas Kuhn sees it as an evolution by leaps and bounds, with a normal routine science followed by a revolutionary science that will become normal over time, and so on. Abduction, another logic proposed by Peirce, is often better suited to research in biology, for example in phylogenetic systematics. Maturana's concept of autopoiesis (a system always in action with its environment) and Varela's concept of enactment (the action of adapting a system to a given time and place) have been used mainly in animal behaviour. In fact, veterinary science research has no methodological specificity compared with other biological sciences. However, the use of animals for experimental purposes, typical of research in veterinary sciences, does imply ethical vigilance and a need to explain the situation to the public.

Keywords: veterinary research, deduction, induction, abduction, philosophy of science

INTRODUCTION

L'air du temps n'est pas une simple idée fugitive dans la recherche. Distinguons la science de la recherche comme le fait Latour (1995) : l'une est du domaine de l'épistémologie (le monde des idées, les faits ne sont plus discutés, sans lien avec la politique ou la société) et l'autre est plus proche de la sociologie et de l'anthropologie (le monde des projets et des hommes, les faits sont en construction, il y a de nombreuses liaisons avec la politique - les sujets prioritaires, et la société - demande sociétale). La recherche est donc pleinement dans l'air du temps. La division entre science et recherche (différence de nature entre une science faite et une science en construction) est beaucoup plus importante que la distinction entre recherche fondamentale et clinique ou appliquée, qui ne diffèrent que par les buts de la recherche mais non pas sur leur méthodologie. Cette méthodologie paraît en première instance fondée sur la logique, mais ce n'est pas une évidence. Ainsi, pour établir une cause à un phénomène, certains vont proposer la méthode du consensus (les experts sont d'accord sur cette cause), d'autres se reposer sur une autre autorité (ce travail a été financé par une institution prestigieuse), d'autres encore se fondent sur la répétition (deux événements sont toujours associés) (Rothman & Greenland 2005). Les chercheurs s'appuient sur des théories générales comme l'expose Murayama (1974). La théorie hiérarchique montre qu'une cause a un effet et le raisonnement est déductif, la théorie individualiste indique qu'une cause aura probablement un effet et le raisonnement sera inductif, et enfin la théorie mutualiste avec des causes imbriquées pour un effet et l'utilisation des deux logiques. Plusieurs logiques peuvent donc opérer pour la causalité d'un même événement (par exemple la maladie animale), selon les acteurs (Cabaret 2022 ; Saddiqi *et al.* 2012). Ainsi, plusieurs logiques, que nous recenserons, seront également impliquées dans la recherche, vétérinaire ou autre. Nous poserons dans un premier temps la question de la spécificité ou non de la recherche vétérinaire. Nous nous interrogerons ensuite sur la stabilité des phénomènes observés, ce qui est un prérequis pour proposer des méthodes et établir des théories. Nous nous pencherons ensuite sur les logiques qui sont des supports aux méthodes. Nous noterons que certains philosophes rejettent toute méthode, alors que d'autres associent des logiques pour construire des règles et des méthodes pour la recherche. Les philosophes des sciences présentés sont généralistes mais on peut aussi convoquer des philosophes orientés vers des disciplines comme c'est le cas pour la systématique, le comportement animal ou bien la zoologie et la médecine. Nous tenterons enfin d'évaluer le rôle respectif d'une philosophie des sciences générale et d'une philosophie des sciences disciplinaire.

LA RECHERCHE VÉTÉRINAIRE, UNE RECHERCHE À PART ?

On peut se demander si la recherche vétérinaire a des spécificités particulières. Parodi (2019) dresse une description de la recherche vétérinaire. Elle se met en place dès la création des Écoles royales vétérinaires, en 1761, par Claude Bourgelat, avocat et Écuyer du Roi Louis XV. Elle est alors très modeste, puisque la lutte contre les grands fléaux sanitaires qui frappaient le bétail était alors confiée à un médecin, Félix Vicq d'Azyr, membre de la



Société royale de médecine. Elle devait progressivement connaître un développement propre. C'est surtout avec l'ère pasteurienne, dans le dernier tiers du XIXe siècle et ensuite, que des vétérinaires vont réellement entrer dans une véritable démarche scientifique. Parodi (2019) cite ainsi Gaston Ramon, "père" des anatoxines, Edmond Nocard découvreur des mycoplasmes, Camille Guérin, associé au médecin Albert Calmette dans la découverte du BCG (Bacille Calmette et Guérin) contre la tuberculose, ou encore Jean Cuillé et Paul Louis Chelle qui décrivent en 1936 un agent non conventionnel, qui sera dénommé plus tard prion, dans le système nerveux de moutons atteints de la tremblante.

Les mondes médical et vétérinaire, assez séparés pendant longtemps, ont des grandes convergences aujourd'hui (Tracey 2021). De manière évidente les animaux sont source de nombreuses zoonoses et la coopération des recherches dans les deux médecines est nécessaire. Elle le sera d'autant plus que les populations d'animaux sauvages se rapprocheront des villes et augmenteront le contact avec les humains et leurs animaux domestiques. Les animaux familiers, chiens, chats, bénéficient d'avancées issues de la recherche médicale (imagerie, chirurgie, thérapeutique anticancéreuse, traitement des troubles du comportement, ...). Dans le domaine des greffes d'organe animal à un malade humain, l'interaction des deux médecines est évidente. Les porcs sont porteurs d'un Rétrovirus dit endogène, le PERV (*porcine endoretrovirus*) ; il n'est pas pathogène pour cette espèce, mais il constitue un obstacle sanitaire à l'utilisation d'organes de porc pour la réalisation d'hétéogreffes à l'Homme. La technique d'ingénierie génétique CRISPR-Cas9 a permis l'inactivation de gènes de PERV essentiels à la sortie du virus des cellules épithéliales porcines (Jestin *et al.* 2018). Des porcelets porteurs de ces délétions sont nés et pourront peut-être constituer des donneurs d'organes. La réaction de rejet de greffons hétérologues reste encore à maîtriser par les deux médecines. Le concept de « *One medicine* » (Une seule médecine), qui a précédé celui de « *One Health* » (Une seule santé), incite à penser que la recherche vétérinaire n'a pas une spécificité forte et les méthodes et problèmes de recherche sont très proches de ceux relatifs à la médecine humaine. Il est donc vain de vouloir différencier des modes de recherches au sein des recherches vétérinaires proprement dites (Cabaret *et al.* 2003).

Certains aspects de ces recherches pourraient cependant partiellement les distinguer. Un premier point mérite une attention particulière, c'est le recours à l'expérimentation animale, que ce soit pour un modèle d'une pathologie humaine ou pour des études concernant directement l'animal (Directive de l'Union européenne 2010/63 sur la protection des animaux d'expérimentation). Ces expérimentations, qui divisent l'opinion, peuvent aboutir, s'il n'y a pas de contrôle des comités d'éthique et une formation des expérimentateurs, à une réification de l'animal qui devient un objet au lieu de rester un sujet (Cabaret & Fortin 2022). Le second point est que la recherche vétérinaire en France est sous la direction de deux ministères, celui de la Recherche et celui de l'Agriculture, ce qui tendrait à donner à tort un particularisme à la recherche vétérinaire. Cela ne concerne que les objets de recherches et les perspectives d'application (Dron & De Lattre-Gasquet 2001), sans intervenir sur les méthodes de la recherche, ce qui est le fond de notre article.

L'INSTABILITÉ DU MONDE MINE LA MÉTHODE EN SCIENCE : HUME ET BORN

Deux interrogations posent un problème majeur : celle de Hume sur la stabilité du monde et celle de Born sur la répétabilité des expérimentations.

L'induction a été mise à rude épreuve par Hume (1739, 1952)¹. Le monde physique est-il stable ? Le soleil se lèvera-t-il demain ? Le cours de la nature sera-t-il le même demain ? « *Le passé ne fournit pas de règles pour le futur, toutes les expériences deviennent sans intérêt et ne peuvent fournir aucune inférence ou conclusion* ». La question de la stabilité posée par Hume est très importante. L'induction n'aurait plus de sens. L'épreuve des tests successifs, fondement de la falsification au sens de Popper, n'aurait alors guère de sens non plus : telle loi aujourd'hui passe des tests qu'elle ne sera pas capable de passer demain. Popper n'a pas fourni d'éléments de réponse à l'interrogation de Hume. Lindth (1993) a proposé deux pistes : i) les données du passé ou antérieures corroborent les lois actuelles (« *validation empirique* »), ii) des observations réalisées dans le futur donneront elles des résultats similaires, « *validation à venir* » ?

Selon Born (1949) « *aucune observation ou expérience, même si elles sont étendues, ne peuvent fournir qu'un nombre limité de répétitions* ». Je jette 10 fois une pièce et j'ai toujours Face. La 11e fois, j'ai une grande chance d'avoir Face, mais je n'en suis pas sûr. C'est la question de l'extrapolation à partir d'un petit nombre d'expériences. Les lois et les théories ne sont donc que des conjectures, elles ne sont pas obligatoirement vraies, elles ont seulement passé les tests que l'on a bien voulu leur faire subir. L'interrogation de Born met à mal l'inductivisme (passage d'énoncés par-

¹ - Les références avec deux dates concernent les ouvrages anciens avec leur date de parution et celle du document utilisé dans cet article.



ticuliers à des lois générales ou théories) mais est compatible avec le conventionnalisme (les faits sont regroupés en un système ou une théorie qui sont vrais par convention et donc modifiables) et le falsificationnisme (une théorie est réfutable et est scientifique si elle permet de prédire des faits nouveaux).

TROIS GRANDES LOGIQUES POUR FONDER LES MÉTHODES DE RECHERCHE ?

Nous allons cependant aborder les logiques qui sous-tendent la construction des faits, car nous ne sommes pas sûrs que les interrogations de Hume et Born soient souvent un handicap certain. Le monde physique n'est pas toujours stable, mais il l'est assez souvent et les répétitions ne sont pas absolues mais restent fréquentes. Par ailleurs, les logiques permettent de construire la science sur des trajectoires compréhensibles. On peut distinguer trois logiques : la déduction, l'induction et l'abduction (Peirce, 1931/1958). Les trois logiques sont présentées dans le tableau 1.

Logique	Déduction	Induction	Abduction
	De la règle au cas avec parfaite adéquation.	Du cas à la règle avec une probabilité d'être juste.	D'une règle hypothétique au cas, le cas sert à tester la règle.
Règle	L'haemonchose se caractérise par une anémie importante et des œufs du parasite sont retrouvés dans les fèces des ovins ; ils sont identifiés avec certitude après coproculture.	Lors d'haemonchose, les moutons ne se conduisent pas comme d'habitude et l'examen de la conjonctive indique une anémie (système FAMACHA©) (van Wyk et Bath 2002)	Les moutons dans cette ferme ont souvent de l'haemonchose au mois de juillet.
Cas	Ce mouton présente une anémie importante et le diagnostic coproscopique indique la présence d' <i>Haemonchus sp.</i>	Ce mouton ne se conduit pas comme d'habitude et a une conjonctive pâle.	Ce mouton de cette ferme est malade et nous sommes en juillet.
Conclusion	Ce mouton est atteint d'haemonchose. Vrai.	Ce mouton est atteint d'haemonchose. Probablement vrai. Mais ce pourrait être de la fasciolose.	Ce mouton est atteint d'haemonchose. Peut-être vrai, à vérifier. Si c'est vrai on valide la règle.
Vision	Universelle	Locale	Locale

Tableau 1 : Description des trois principales logiques sur une maladie parasitaire anémiant, l'haemonchose, liée à la présence d'un nématode gastro-intestinal chez les ruminants.

La logique abductive n'a pas la faveur de nombreux philosophes, de même que l'induction (Barberousse *et al.* 2000), dans le sens où elles partent d'expériences singulières et se heurtent aux interrogations de Hume et Bore, déjà mentionnées. Les logiques inductives et abductives n'en sont pas moins utilisées par les scientifiques.



LES PHILOSOPHES DES SCIENCES OU D'UNE SCIENCE ?

Les philosophes des sciences que nous avons retenus couvrent une large palette en philosophie des sciences (de l'absence de méthode au recours à des logiques différentes) et sont largement cités. Ainsi dans *Google scholar*, avec une requête du type « *philosophy of XX* », XX étant le prénom et le nom du philosophe, nous obtenons des répertoires de mentions de livres et de citations de l'ordre de plusieurs dizaines de mille avec en pourcentage les valeurs respectives suivantes : Kuhn (56%), Peirce (17%), Popper (12%), Feyerabend (9%) et Lakatos (6%). Kuhn est le plus mentionné sans doute par sa thématique sur les révolutions scientifiques. Tous ont eu une formation initiale en sciences dites dures, comme la physique (Feyerabend, Popper et Kuhn) ou les mathématiques (Peirce et Lakatos). Cela explique en partie que la philosophie des sciences se soit construite autour de la physique plutôt que de la biologie.

Les recherches vétérinaires s'inscrivent dans le domaine de la biologie et on peut se demander si les problèmes de la biologie sont spécifiques. Ce sont naturellement des biologistes qui se sont intéressés à la philosophie de la biologie : Canguilhem (1943/1968) pour la médecine, Gayon pour la zoologie (1998, 2009), Maturana et Varela (1963) pour la structure de la vie et le concept d'autopoïèse. Ce dernier porte sur la propriété d'un système de se produire lui-même, en permanence et en interaction avec son environnement, et ainsi de maintenir son organisation (structure) malgré son changement de composants (matériaux) et d'informations (données). Ce concept a été utilisé dans de nombreux domaines, de la théorie de l'évolution aux sciences cognitives (Ortiz Ocaña 2017). Il fournit un cadre général constructiviste (la connaissance de la réalité est une **construction résultant de l'interaction entre l'observateur et la réalité** et non le reflet exact de cette vérité) sans être pour autant une proposition de méthode de recherche. Ainsi, la philosophie de la biologie s'est plus déterminée sur des thématiques au sein des disciplines de la biologie : « *Dominée à l'origine par des problématiques relevant de la théorie de l'évolution, la philosophie de la biologie a tôt fait de diversifier ses intérêts de recherche, concentrant son attention sur la systématique, la génétique, l'écologie, la biologie moléculaire, la biologie du développement et, plus récemment, sur la biologie des systèmes, l'exobiologie et la microbiologie* » (Méthot 2014). La recherche vétérinaire porte sur un grand nombre de disciplines, de celles ressortant de la médecine à celles proches de la zoologie. Il nous a semblé que les approches des philosophes des sciences ayant une portée générale, interdisciplinaire, pourraient mieux cerner la recherche vétérinaire dans son ensemble.

L'ABSENCE DE MÉTHODE : PAUL FEYERABEND

L'anarchisme épistémologique de Feyerabend (Figure 1) se comprend si l'on considère les interrogations de Hume et Born. La correspondance entre Lakatos et Feyerabend est un bel exemple des théories contradictoires concernant la méthodologie des sciences comme l'a intitulée Motterlini, 1999 : Pour ou contre la méthode. Il fait dire à Feyerabend dans ses dialogues « *Vous oubliez que la force du scepticisme repose sur le fait que, en même temps que les résultats, les critères pour les fonder changent aussi.* », « *Plus une méthodologie semble capturer la rationalité de la science, plus elle assure une mystification réelle de la science* ». Feyerabend, à partir du scepticisme, a évolué vers l'idée d'un anarchisme épistémologique (Feyerabend 1975) qu'il rapproche du mouvement Dada « *Pas de programme et contre tous les programmes* », « *La seule chose à laquelle il (l'anarchiste) s'oppose absolument, ce sont les standards universels, les lois universelles, les idées universelles comme 'la vérité... la raison'...* ». Une vision historique montre, selon Feyerabend, que « *Il n'y a pas une seule règle méthodologique qui n'ait pas occasionnellement inhibé la science et pas une seule approche irrationnelle qui ne l'ait fait avancer* ». Pour Feyerabend, ni Lakatos (qui ne montre pas la rationalité des changements), ni Kuhn (qui ferait de la psychologie populaire, car les révolutions amènent les oppositions entre écoles et des luttes pour le pouvoir) ne contrent l'anarchisme épistémologique.

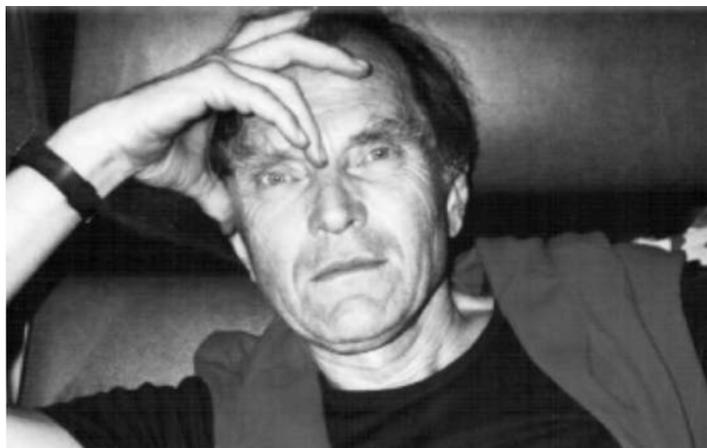


Figure 1 : Paul Feyerabend (1924-1994) source Wikimedia.



Feyerabend dans sa correspondance avec Lakatos classait les philosophes des sciences selon qu'ils portaient leur attention sur les justifications et leur attitude envers l'histoire, en ce qui concerne les hypothèses. Il distinguait les justificationnistes-J (les hypothèses doivent être justifiées) et les conjecturistes-C (les hypothèses injustifiées font pleinement partie du monde des connaissances). Pour l'histoire, on distingue les abstraits-A (un idéal formel se réalisera selon les conditions du contexte en particulier historique) et les historiques-H (l'idéal formel n'est pas nécessaire et on considère l'histoire d'une connaissance). Descartes et le Platon de la République sont ainsi JA, Hegel et le Platon des lois JH, Mill et Popper CA, Lakatos et Feyerabend CH. Cette classification met cependant de côté les logiques qui sous-tendent la construction des recherches, après que des hypothèses soient posées.

L'ABDUCTION SELON CHARLES SPENCER PEIRCE



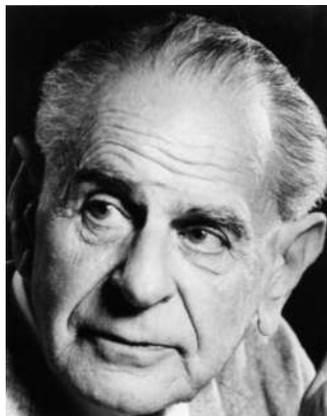
Peirce (1940/1955) (Figure 2) adopte une méthode qui n'est ni totalement hypothético-déductive à partir de vérités évidentes, ni totalement inductive (empirisme). Sa méthode se décompose en trois phases :

- i) Phase d'abduction. Les normes ou les lois proviennent au départ d'une observation surprenante. La structure du raisonnement abductif est du type : Le fait surprenant C est observé ; mais si A était vrai, C irait de soi ; il y a donc des raisons de soupçonner que A soit vrai. Peirce nommait le pragmatisme, la logique de l'abduction.
- ii) Phase de déduction avec deux étapes :
 - Explicative. À partir de prémisses peu claires la déduction peut permettre de rendre certaines parties des prémisses plus claires.
 - Démonstrative. À partir de prémisses vraies on peut tirer des conclusions vraies grâce à un raisonnement logique.
- iii) Phase d'induction : Elle désigne la mise à l'épreuve des hypothèses, que celle-ci se termine par une confirmation ou une réfutation.

Figure 2 : Charles Spencer Peirce (1839-1914) source Wikimedia.

Lipton (1991) a montré que l'abduction (abduction bayésienne) est assez largement utilisée pour la construction des théories, et il cite Darwin (1872/2015) dans *L'Origine des espèces* (sixième édition) : « *On peut difficilement penser qu'une théorie fautive puisse expliquer d'une manière si satisfaisante, comme le fait la théorie de la sélection naturelle, le large nombre de faits recensés. On a récemment objecté que c'est une méthode peu sûre pour démontrer ; mais c'est une méthode utilisée dans la vie courante pour juger des événements courants de la vie, et elle a été utilisée par les plus grands des philosophes.* »

LA RÉFUTATION : LA FALSIFICATION DE KARL POPPER



Popper (1959) (Figure 3), à la suite de Hume, note que toutes les sciences sont basées sur l'observation du monde. Cette observation est par nature partielle, et l'on tire des lois générales de ces observations. Cette démarche permet d'avancer mais ne garantit pas la justesse des conclusions. À l'induction il substitue le principe de la réfutabilité empirique (en anglais, *falsifiability*, souvent traduit faussement par falsification en français). C'est ce principe qui va devenir le critère de démarcation entre science et fautive science proposé par Popper. Une théorie est dite scientifique si elle permet de diviser en deux sous-classes les énoncés de base (rapport d'observation) :

- la classe des énoncés qui la contredisent, appelés falsificateurs potentiels (si ces énoncés sont vrais, la théorie est fautive) ;
- la classe des énoncés avec lesquels elle s'accorde (si ces énoncés sont vrais, ils la corroborent).

Figure 3 : Karl Popper (1902-1994) source Wikimedia.



Pour Popper (1983/1996), il y a une asymétrie entre les deux énoncés, les falsificateurs peuvent faire rejeter une théorie et vont nous amener à chercher d'autres théories, alors que les corroborateurs nous cantonnent dans cette même théorie initiale.

La falsifiabilité ou réfutation a été critiquée évidemment par Feyerabend qui s'opposait à toute méthode mais aussi par Lakatos (1973/1998) : « *Je dois abandonner la réfutation comme quelque chose qui servirait à décider du rejet d'une théorie... les plus belles victoires en science ont été des vérifications et non pas des réfutations... Nous revenons donc à la vérification.* ». Pour les sciences sociales, qui se fondent sur des enquêtes et non pas des expérimentations, Passeron (1991) indique que la corroboration (qu'il nomme véridiction) et non pas la réfutabilité est importante : « *Aucune des propriétés logiques qui rendent possible la réfutabilité (falsifiabilité) d'une proposition théorique n'appartient stricto sensu à celles qui composent une théorie sociologique, du seul fait que le sens de l'information sur laquelle elles assentent reste toujours solidaire d'une série de configurations historiques singulières*».

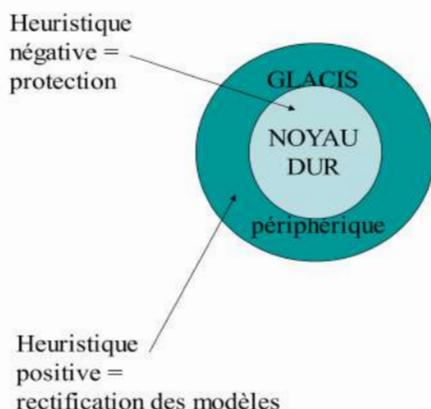
LA MÉTHODE DE RECHERCHE DES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES : IMRE LAKATOS



Une méthode pour les chercheurs ?

Lakatos (1970/1994) (Figure 4) est celui qui a approché le plus la réalisation de la recherche. Plutôt que de se fonder sur une théorie comme Popper, il s'est intéressé aux programmes de recherche qui sont chacun constitués par des séquences de théories. Un programme est caractérisé par un noyau dur ('hard core') qui a un rôle essentiel dans le programme et d'un glacis protecteur ('protective belt') (Figure 5). L'injonction à ne pas changer le noyau dur est appelée heuristique négative. L'heuristique positive consiste à changer des éléments du glacis protecteur quand ils rentrent en contradiction avec les faits. Dupuy (2000) estime que « *L'épistémologie de Lakatos, en effet, fonde en raison - et c'est en cela qu'elle est poppérienne - une pratique de science normale à la Kuhn, en rehaussant de façon considérable le seuil de falsification* » et « *le 'noyau dur' (hard core) d'un programme de recherche ne peut être falsifié- il joue le rôle d'un paradigme kuhnien* ».

Figure 4 : Imre Lakatos (1922-1974) source Wikimedia.



Un programme de recherche est considéré comme un succès s'il permet de progresser au plan théorique, d'amener des faits nouveaux. Il doit aussi faire progresser empiriquement, certains faits nouveaux devront être corroborés par ailleurs. Un programme sera dégénératif s'il ne produit pas de faits nouveaux, ou si ces faits nouveaux sont invalidés. Cette notion de nouveauté implique une comparaison et ce sera par rapport aux faits déjà existants dans d'autres programmes anciens ou actuels. Les critiques concernant la méthodologie des programmes de recherche reposent sur le fait que leur dégénérescence n'est pas totalement définie et surtout sur la fixité de ce programme qui n'évolue pas par rapport à la vision du changement de Kuhn (Nickles 2021).

Figure 5 : Procédures de recherche et de découverte (heuristique) selon Lakatos, dans le but de protéger le noyau dur de la théorie, et de rectifier le glacis périphérique en cas de contradiction avec les faits.



Les utilisations de la méthode de Lakatos

La philosophie de Lakatos (mais aussi celle de Popper) a beaucoup séduit, en particulier les économistes. Ils ont été très influencés par le chapitre de Friedman (1953) sur la méthodologie de l'économie positive. On y retrouve des accents Poppériens : « *une hypothèse doit être jugée sur ses aspects prédictifs... L'hypothèse est rejetée si ses prédictions sont contredites... Les faits ne peuvent pas prouver une hypothèse, ils peuvent seulement échouer à montrer sa fausseté* ». Rosenberg (1986), à l'opposé, a proposé une démarche issue de Lakatos pour l'économie.

En parasitologie, la méthode de Lakatos convient très bien aux études historiques. La construction d'un tel programme aurait sans doute permis de comprendre plus rapidement le cycle de la petite douve (Denegri 1997). C'est un trématode d'herbivore. Des travaux en Grande-Bretagne en 1931 et en Allemagne en 1936 avaient montré que des mollusques terrestres étaient des hôtes intermédiaires. À partir de ces derniers, ils reproduisaient la maladie chez le mouton. Ultérieurement aux USA (Ithaca), Mapes et son groupe n'arrivaient pas à reproduire le cycle. Ils se posaient la question d'un second hôte intermédiaire et ont montré le rôle des fourmis (Krull & Mapes 1953). Ils ont été guidés par le fait que les bols muqueux émis par les mollusques sont très consommés par les fourmis. Celles-ci ont également un comportement anormal quand elles consomment ces bols : elles s'accrochent aux herbes et sont donc tout à fait disponibles pour des herbivores comme les ovins et moins pour des animaux au régime alimentaire plus varié (marmottes et lapins). La prévalence était beaucoup plus faible chez ces marmottes et lapins. Une réflexion sur les caractéristiques alimentaires des hôtes aurait mieux permis de comprendre ces différences de prévalence et de reconstruire le cycle exactement. Le noyau dur aurait été : i) les habitudes alimentaires herbivores les amènent à ingérer de l'herbe, ii) l'ingestion d'herbe varie chez les herbivores, les ovins en consommant plus que d'autres. Les mollusques terrestres sont consommés involontairement par les ovins (glacis protecteur). Cette hypothèse est repoussée (heuristique positive). Une seconde est proposée : un hôte intermédiaire plus petit qui sera facilement consommé involontairement par le mouton. Ce sera la fourmi qui consomme les bols muqueux des escargots. Le programme a été source de progrès... dans sa construction *a posteriori* (Denegri 2008).

Les crédits de la méthode sont pratiquement toujours à travers des examens historiques de la science faite (Orensanz & Denegri 2017, pour l'helminthologie, d'Aristote jusqu'au XXe siècle) mais sont moins reconnus dans les constructions de recherche en cours (Cabaret & Denegri 2008). Cette validation de la méthode des programmes de recherche peut poser question. En effet, l'évaluation historique repose sur la validation d'hypothèses *a posteriori*. Lipton (2005) le montre avec l'expérience de pensée qui suit concernant le tir à l'arc sur une cible contre un mur. Son fils le plus âgé se prépare et tire sur la cible qu'il a dessinée, avec un succès modéré ; son plus jeune fils, lui, il décoche sa flèche...et construit sa cible autour de sa flèche, et sans modestie, il a mis dans le mille ! Le premier sera considéré comme un archer moyen et l'autre comme un champion pour un observateur externe des résultats. Lipton, sans conclure sur l'avantage ou non des hypothèses *ante* (le cas du fils le plus âgé) ou *ad hoc* (ou post, comme le plus jeune), en montre toutefois les limites.

LA SCIENCE NORMALE ET LA RÉVOLUTION DUE A SES RUPTURES : THOMAS KUHN

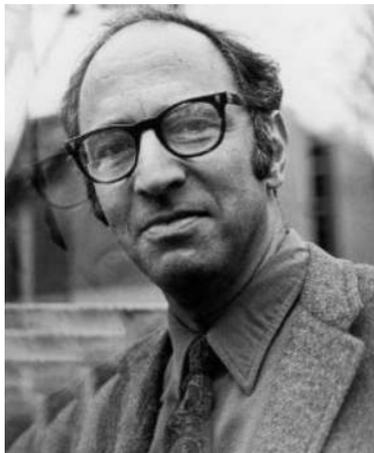


Figure 6 : Thomas Kuhn (1922-1996) source Wikimedia.

La science normale repose sur la science faite, avec sa vision et ses techniques et méthodes (le paradigme). À l'inverse, les ruptures suivent un changement de paradigme que nous illustrons par un exemple sur le contrôle des parasites gastro-intestinaux à la suite de l'apparition de résistance de ces parasites aux anthelminthiques.

Le paradigme

Le terme paradigme est central dans l'œuvre de Kuhn (Kuhn, 1968/2005) (Figure 6). Au sens littéral, ce mot désigne les exemples typiques à partir desquels les élèves apprennent les règles de fonctionnement de certains schémas linguistiques. Ainsi, la suite « *rosa, rosam, rosae*, etc. » est le paradigme des mots qui obéissent à la première déclinaison



latine. Le terme est adapté pour caractériser métaphoriquement le genre d'objets qui, dans les sciences, joue le même rôle que les modèles de déclinaison dans les langues, à savoir les exercices types. Toutefois, ce terme a pris des sens variés comme celui de vision du monde, de théorie, ou de concept, même pour Kuhn. Il a donc redéfini précisément les sens qu'il donnait à ce terme (Juignet 2015) :

– Le sens général, pour lequel les paradigmes sont rebaptisés « matrices disciplinaires » et qui suscitent l'adhésion d'une communauté scientifique. C'est l'aspect sociologique du paradigme. Les matrices disciplinaires sont : i) les généralisations symboliques (telles que les formules principales d'une théorie) ; ii) les modèles (comme celui des boules de billard pour représenter les atomes) ; iii) les valeurs scientifiques (simplicité des théories, leur cohérence, etc.).

– Le sens étroit, qui se réfère uniquement aux exemples types. Ce sont les authentiques paradigmes, assimilés tacitement par les scientifiques comme des techniques de solutions pratiques. Il s'agit des principes et méthodes partagés par une communauté scientifique. Le paradigme est un modèle épistémique qui fait autorité et regroupe les chercheurs pour un temps, celui de la science normale.

Un paradigme est donc adopté par la communauté scientifique et il dure tant qu'il n'y a pas d'obstacle externe qui le contredise. Si une anomalie se manifeste, une crise s'établit parmi les scientifiques, et perdure jusqu'à la résolution du problème et l'adoption d'un nouveau paradigme. Il s'ensuit alors un retour à la science normale. Cette séquence se répète indéfiniment.

Un exemple de changement de paradigme : le traitement des nématodes gastro-intestinaux

La résistance des nématodes gastro-intestinaux aux anthelminthiques est devenue très fréquente (Cabaret *et al.* 2009). Cette résistance est souvent observée une dizaine d'années après la mise sur le marché d'une molécule anthelminthique. La mise sur le marché de nouvelles molécules est rare (Geary et Thomson 2003) et donc l'usage répété des traitements aboutit progressivement à une résistance. Avant l'existence de la résistance, le paradigme était de traiter les animaux et de les mettre ensuite sur une parcelle saine, indemne de parasites. C'est le '*treat and move*' en anglais (Coles 2002). Les travaux de recherche pouvaient alors porter sur le meilleur choix de traitement en fonction des parasites présents et aussi d'assainir ou de trouver des pâturages indemnes afin de réduire au minimum l'infestation. Après la mise en place de résistance assez généralisée, en particulier aux molécules de la famille des benzimidazolés, la stratégie a changé : il s'agit certes de réduire l'infestation mais aussi de ne pas augmenter le niveau de résistance des parasites aux traitements. Pour ce faire, il est alors conseillé de déplacer les herbivores vers des pâturages où des stades infestants du parasite sont issus de populations peu soumises aux traitements (notion de refuge : van Wyk 2001) puis de traiter ces animaux (en anglais, '*move and treat*' de Coles 2002). Cela permet de réduire la résistance au sein des larves infestantes du pâturage : les animaux traités excrètent des œufs de parasites qui évoluent en larves infestantes résistantes qui se rajoutent aux larves des précédentes contaminations qui étaient moins résistantes. La recherche va alors s'orienter vers la réduction du nombre des traitements : traitements sélectifs des animaux les plus infestés seulement (van Wyk et Bath 2002 ; Cabaret 2008) pour surtout réduire l'infestation, ou bien le traitement au hasard de seulement 10% des animaux pour réduire le développement de la résistance (Gaba *et al.* 2012). Elle pouvait aussi s'orienter vers la substitution de parasites résistants par des parasites sensibles (Moussavou-Boussougou *et al.* 2006), méthode efficace mais contraignante.

Le travail de Kuhn est très novateur car il a montré que les sciences ont une histoire, qu'elles ne sont pas isolées de la société et même de la sociabilité humaine (au sens des relations entre les personnes au sein de groupes dans les institutions). Les sciences, ce sont aussi des communautés de scientifiques qui suivent l'air du temps, ce qui avait été déjà montré par Fleck (1935/2005).

DISCUSSION

Les philosophes des sciences généralistes (ceux que nous venons de présenter) proposent un large répertoire sur les façons de faire de la science. La biologie en général, et également les sciences vétérinaires, ont fait des progrès immenses de la fin du XIXe au XXIe siècles. Devant ce foisonnement, on peut se demander si une approche généraliste a encore un intérêt. Il nous semble clair que c'est le cas, comme le montrent les exemples parasitologiques que nous avons utilisés : le cycle de la petite douve ou la résistance des nématodes gastro-intestinaux aux anthelminthiques. La méthodologie de Lakatos est simple à mettre en œuvre et les actions entreprises comme conserver le noyau dur, réfuter certaines parties du glacie périphérique, se fondent sur l'ensemble des logiques, déductive, inductive et même abductive. Et puis le noyau dur sera un jour réfuté en partie, et nous quitterons la science normale pour un nouveau paradigme qui ne sera pas réfuté pendant une période plus ou moins longue.



Toutefois la complexité, autre que physique, de la médecine et le contact avec l'utilisation des animaux amènent à raffiner certaines propositions ou réfutations. On retrouve des exemples de ces raffinements dans différentes sections de la biologie qui intéressent de près les sciences vétérinaires, comme la systématique qui propose son propre projet philosophique (Deleporte & Lecointre 2005), la médecine humaine s'y investit également (Lemoine 2017), comme il y a une philosophie animale (Afeissa & Jeangène Wilmer 2010) et même une philosophie du comportement animal (Gérard *et al.* 2005).

La systématique phylogénétique, fondée sur l'organisation des caractères (morphologiques ou moléculaire) ne fait pas fi des logiques que nous avons présentées. Quatre étapes fondamentales sont en jeu : i) établir les bases pour faire une inférence phylogénétique (présentation des caractères morphologiques évolués), ii) utiliser l'inférence abductive comme moyen de répondre à des questions causales au moyen d'hypothèse explicatives, iii) construire l'inférence déductive de tests de cette hypothèse (vérifiée par l'ajout de nouvelles données de caractères), et iv) appliquer le test de l'hypothèse (domaine de l'induction, comme les tests statistiques qui partent d'individus en nombre limité pour les étendre à des populations entières) (Fitzhugh 2005). Selon ce même auteur, les nombreuses méthodes utilisées en phylogénétique n'ont pas établi de réelles justifications par manque de fondement philosophique qui déterminerait en fait l'efficacité de ces méthodes. C'est alors la philosophie des sciences, assez classique, qui permettrait de s'y retrouver dans le dédale des multiples méthodes utilisables en phylogénie, encore amplifié par l'outil informatique qui a simplifié les calculs pour l'utilisateur.

Un autre cas de fonction clarificatrice et heuristique de la philosophie des sciences concerne la cognition et en particulier celle des animaux. Von Uexküll (1965) a montré que chaque groupe animal a son propre monde ('Umwelt' en allemand), qui n'est pas celui de l'observateur. Les carnivores voient moins de couleurs et ont des capacités olfactives bien supérieures à celles de l'Homme : leur vision du monde ne sera pas la même que celle des humains. L'autopoïèse est une propriété qu'ont certains systèmes à se construire eux-mêmes, en permanence et du fait de leur interaction avec leur environnement (Maturana & Varela 1984). Cela se traduit par le principe d'énaction ou de faire-émerger par l'action, caractéristique des systèmes autopoïétiques. « *L'acte de communiquer ne se traduit pas par un transfert d'information depuis l'expéditeur vers le destinataire, mais plutôt par le modelage mutuel d'un monde commun au moyen d'une action conjuguée* » (Varela 1989). La cognition se fonde alors sur l'idée que l'organisme est inséré dans une situation particulière avec une configuration particulière, c'est-à-dire dans des conditions écologiquement situées (en anglais, 'situated cognition' - cognition située ou 'embodied cognition' - cognition incarnée, ou encore éenaction). Cette proposition s'oppose aux théories du cognitivisme (le cerveau fonctionne comme un programme d'ordinateur) et au connexionnisme (toute opération du cerveau est le résultat d'opérations en parallèle par des composants simples et interconnectés qui sont les neurones). Les systèmes vivants spécifient eux-mêmes leur monde qui est leur niche écologique, ce qui correspond au résultat de l'énaction. Pour Gérard *et al.* (2005) la cognition animale n'est pas synonyme d'intelligence ou de résolution de problèmes, mais elle consiste simultanément en la spécification d'un monde et en l'émergence d'une expérience subjective immédiate ; elle repose sur l'énaction. Il cite pour exemple celui des mésanges bleues et charbonnières (*Parus caeruleus* et *Parus major*) et l'accenteur mouchet (*Prunella modularis*) ou le verdier (*Carduelis chloris*) qui fréquentent les abords des maisons. Les mésanges donnent assez souvent des coups de bec dans divers objets et consomment des graines dures, ou des larves d'insectes se trouvant dans les tiges creuses de végétaux secs, ce qui n'est pas le cas de l'accenteur mouchet ou du verdier. Des bouteilles de lait ont commencé à être distribuées dans les années 1920 sur le pas des portes en Angleterre, et les mésanges ont pris l'habitude d'ouvrir les capsules de ces bouteilles et de consommer la crème flottant à la surface du lait. Elles ont intégré les bouteilles de lait dans leur niche trophique, ce que n'ont pas fait les deux autres espèces d'oiseaux qui visitent aussi les pas de porte mais ne martèlent pas les objets. L'utilisation d'une option philosophique (l'énaction) permet de sortir d'une vision très anthropocentrée du comportement animal.

L'ouvrage « *La philosophie animale* » (Afeissa & Jeangène Wilmer 2010) est un recueil de textes qui pose des questions sur l'humanité et l'animalité, l'éthique animale et la communauté des animaux et des êtres humains. Il présente ainsi les rapports entre l'Homme et les animaux non-humains, domestiqués ou non, qu'ils soient des animaux d'élevage ou des compagnons. Ces rapports ont une incidence sur la conception que l'on peut se faire de l'utilisation des animaux pour des fins de recherche mais également sur les recherches qui seront entreprises. Le cadre du maintien des capacités (aptitudes) des animaux a été bien défini par Nussbaum (2001) en général et par Cabaret *et al.* (2014) pour les animaux de rente. Parmi ces capacités, celles qui sont le plus mises à mal sont : i) possibilité de mener une vie d'une durée normale pour l'espèce - réduite par l'abattage des jeunes pour la production de viande



ou pour la fin d'une expérimentation, ii) avoir une vie sexuelle satisfaisante - éliminée par l'insémination artificielle et les techniques d'amélioration génétique, iii) conserver une intégrité corporelle - confrontée au limage des dents et à l'ablation des queues des porcelets ainsi qu'à la castration dans toutes les espèces, iv) avoir la possibilité de jouer - les vaches laitières attachées n'en ont pas le loisir, et v) celle de rentrer en contact avec d'autres animaux, les plantes, la nature – les élevages confinés, que ce soit pour la production de lait ou de viande ou bien des expérimentations contrôlées, n'en ont pas la possibilité. Ces problèmes de l'élevage (production ou expérimentation) sont mal perçus par le public (Delanoue & Roguet 2015). Le maintien des capacités chez l'animal va donc à l'encontre de certaines pratiques d'usage des animaux. Les expérimentations devront donc être pesées sur leur finalité (amélioration de la santé humaine, meilleure résistance aux maladies, meilleure conversion de l'aliment en viande, etc...) et aussi sur leur coût en termes de capacité. Cela peut mener à terme à une réduction drastique de l'expérimentation animale et par voie de conséquence à une réorientation vers les faits en situation naturelle (observations). Il y aurait alors une réduction de l'usage de la logique déductive vers une logique abductive sous le contrôle inductif des statistiques adaptées aux situations complexes et donc une autre manière de faire la science dans le domaine vétérinaire.

Une autre philosophie spécialisée, celle de la médecine humaine, a également un intérêt pour les sciences vétérinaires. L'ouvrage de Lemoine (2017) est bienvenu car peu de livres ont été publiés en français dans ce domaine depuis le très connu « *Le normal et le pathologique* » de Canguilhem (1943/1966). Le champ des sciences médicales ne se réduit pas à l'éthique médicale mais a aussi des philosophies anthropologiques et épistémologiques, et c'est cette dernière qui est investie par Lemoine. Il revient sur le normal et le pathologique, évoque la réalité des entités nosologiques, les problèmes liés à l'épidémiologie et la causalité, la question de la preuve, puis celle de la prédiction. Même si la majorité des chapitres peut fournir un éclairage pour les sciences vétérinaires, en particulier pour les aspects cliniques, nous retenons pour la recherche la notion d'extrapolation. Il y en a deux types : celui qui concerne le passage de l'*in vitro* ou de l'animal modèle vers l'Homme, ou de l'Homme vers l'Homme et donc d'un échantillon vers une population, et celui qui concerne le pronostic, soit le passage de connaissances populationnelles vers un individu.

Ces ajustements liés aux disciplines restent cependant à la marge selon nous et la philosophie des sciences telle que nous l'avons présentée reste toujours d'actualité (Barberousse *et al.* 2000). C'était également la position des philosophes du cercle de Vienne (groupe de philosophes fondé autour de 1920). Ils se refusaient à séparer les sciences de l'esprit (*Geisteswissenschaften* en allemand, dont le but est de comprendre) de celles de la nature (*Naturwissenschaften* dont l'objectif est l'explication) et ils partageaient la conviction que l'évaluation des énoncés scientifiques obéit à la même méthode dans tous les domaines de recherche.

CONCLUSIONS

Considérant cet éclatement des philosophies tant en médecine qu'en zoologie, on peut se demander s'il est vraiment nécessaire de fonder une philosophie des sciences vétérinaires cliniques ou de recherche. Les méthodes et logiques existantes suffisent bien à fourbir l'attirail du chercheur. Il pourra être nécessaire pour certaines sous-disciplines de rechercher des méthodes particulières, mais qui finalement procèdent des méthodes existantes comme nous l'avons vu pour la phylogénie par exemple. Il faudra certainement que la recherche vétérinaire soit plus en accord avec le statut de l'animal, tel qu'il est perçu par une large part du public.

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement Jean Gayon (*Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques, Paris Sorbonne*) pour m'avoir guidé dans mes pas d'apprenti philosophe il y a quelques années.

RÉFÉRENCES

- Afeissa HS & Jeangène Wilmer JB. Philosophie animale. Différence, responsabilité et communauté. Paris, Vrin, 2010
- Barberousse A, Kistler M, Ludwig P. La philosophie des sciences au XXe siècle. Paris: Champs Université, Flammarion; 2000.



- Born M. Natural philosophy of cause and chance. Oxford: Clarendon Press; 1949
- Cabaret J. Pro and cons of targeted selective treatment against digestive-tract strongyles of ruminants. Parasite. 2008; 15 :506–509
- Cabaret J. Experts and disease concepts in animals: the role of deduction, induction, and abduction. Academia Letters, Article 1296. Disponible à : <https://doi.org/10.20935/AL1296>. 2022. (Consulté le 15 octobre 2023)
- Cabaret J, Bellon S., Gautronneau Y. Quelle recherche pour l'agriculture biologique ? Pour. 2003 ; 178 : 116-125
- Cabaret J, Charvet C, Fauvin A, Boudsocq-Silvestre A, Sauve C *et al.* Strongles du tractus digestif des ruminants : mécanismes de résistance aux anthelminthiques et conséquences sur leur gestion. Bull Académie Vét. France. 2009; 162: 33-38; Doi: [10.4267/2042/47973](https://doi.org/10.4267/2042/47973)
- Cabaret J, Chylinski C, Vaarst M. The freedoms and capabilities of farm animals. How can organic husbandry fulfil them? pp. 261-278. In: Bellon S., Penvern S. Eds., Dordrecht Heidelberg New-York, 2014
- Cabaret J & Denegri G. The scientific research programmes of Lakatos and applications in parasitology. Parasite. 2008; 15: 501-505
- Cabaret J & Fortin L. Varying degrees of reification by stakeholders in experimental research. Animals. 2021 ; 12 : 190
- Canguilhem G. Le normal et le pathologique. Paris : PUF, Quadrige ; 1966
- Coles GC. Sustainable use of anthelmintics in grazing animals. Vet Rec. 2002; 151: 165-169
- Darwin C. The origin of species. Cambridge UK: Cambridge University Press. 2009 ; The origin of species. John Murray, 1872
- Delanoue E & Roguet C. Acceptabilité sociale de l'élevage en France : recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. INRA Prod Anim. 2015 ; 28 : 39-50
- Deleporte P & Lecointre G. Philosophie de la systématique. Paris, Biosystema, 2005 ; 24, Publication de la société Française de Systématique
- Denegri G & Cabaret J. La metodología de los programas de investigación científica aplicada a la parasitología como un aporte epistemológico para la investigación experimental. Episteme. 2002; 14: 89-100
- Denegri G. Contrastación de un programa de investigación científica en parasitología: reconstrucción de un caso histórico. Natura Neotrop. 1997; 28: 65-70
- Denegri G. Fundamentación epistemológica de la parasitología. Edición bilingüe. Epistemologic foundation of parasitology. Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata (EUDEM)-Editorial Martin, Mar del Plata, Argentina, 2008
- Dron M & de Lattre-Gasquet M. Politiques d'aide et recherche agricole. Bilan et perspectives. Sciences en question, Paris, INRA Éditions, 2001
- Dupuy JP. Les savants croient-ils en leurs théories ? Une lecture philosophique de l'histoire des sciences cognitives. Paris : Sciences en question, INRA Éditions ; 2000
- Feyerabend P. Contre la méthode, Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance (1975), Paris : Le Seuil ; 1979 ; Paris : Ed. Poche, Le Seuil, coll. "Points sciences"; 1988
- Fitzhugh K. Les bases philosophiques de l'inférence phylogénétique : une vue d'ensemble. pp. 83-106. In : Deleporte P, Lecointre G (Eds). Philosophie de la systématique. Paris, Biosystema, 2005, 24, Publication de la Société Française de Systématique
- Fleck L. Genèse et développement d'un fait scientifique. Paris: Les Belles Lettres, 2005
- Friedman M. The methodology of positive economics. In: Essays in positive economics, Chicago, Chicago university press; 1953. pp. 145- 178
- Gaba S, Cabaret J, Chylinsky, C, Sauvé C, Cortet, J, Silvestre A. Can efficient management of sheep gastrointestinal nematodes be based on random treatment? Vet Parasitol. 2012 ; 190 : 178 - 184
- Gayon J. De la biologie à la philosophie de la biologie. In : F. Monneyeur (Ed.), Questions vitales. Paris : Éditions Kimé, Vie biologique, vie psychique ; 2009
- Gayon J. The concept of individuality in Canguilhem's philosophy of biology. J Hist Biol. 1998; 31: 305-325
- Geary TG & Thompson DP. Development of antiparasitic drugs in the 21st century. Vet Parasitol. 2003; 115:167-184
- Gérard J-F, Dubois MJ, Mechkour F, Bideau E, Maublanc M-L. Comportement et cognition animale: la perspective de l'énaction. In : Delfour, F, Dubois, M.J., Edits. Lyon. Autour de l'éthologie et de la cognition animale, Presses Universitaires de Lyon ; 2005. pp. 155-182
- Hume D. An enquiry concerning human understanding. Chicago : Encyclopedia Britannica; 1952 pp. 1711-1776 ; Traité de la nature humaine (publié en 1739)
- Jestin A, Demange A, Blanchard Y. Les rétrovirus endogènes porcins (PERV) : inactivation des gènes viraux par CRISPR-Cas9 et perspectives en Xénotreffes. Bull Acad Nat Méd. 2018 ; 202 : 1627-1639
- Juignet P. Les paradigmes scientifiques selon Thomas Kuhn. Philosophie, science et société. 2015. Disponible à <https://philosciences.com/113>. (Consulté le 30 septembre 2023)
- Krull W-H & Mapes C R. Studies on the Biology of *Dicrocoelium dendriticum* (Rudolphi, 1819) Looss, 1899 (Trematoda: Dicrocoeliidae), including its relation to



the intermediate host, *Cionella lubrica* (Muller). IX, Notes on the cyst, metacercaria, and infection in the ant *Formica fusca*. The Cornell Vet. 1953 ; 43 : 389-410

- Kuhn T. La structure des révolutions scientifiques. Paris : Flammarion, coll. « Champs / 791 » ; 2008 (1^{re} éd. 1962)
- Lakatos I. Histoire et méthodologie des sciences, trad. fr. C. Malamoud et J. F. Spitz. Paris: PUF; 1994
- Lakatos I. Lectures on scientific methods. Lecture 7 Falsification and intellectual honesty. In: For and against method. Ed. M. Motterlini. Chicago and London: University press of Chicago; 1998. pp. 86-96
- Latour B. Le métier de chercheur, regard d'un anthropologue. Paris : Sciences en question, INRA Éditions ; 1995
- Lemoine M. Introduction à la philosophie des sciences médicales. Paris, Hermann, Med - collection de philosophie des sciences médicales contemporaines, 2017
- Lindth AG. Did Popper solve Humes 'problem? Nature. 1993; 366: 105-106
- Lipton P. Inference to the best explanation. London; Routledge; 1991
- Lipton P. Testing Hypotheses: Prediction and Prejudice. Science. 2005 ; 307: 219–221
- Maturana H & Varela F. El árbol del conocimiento. Santiago de Chile: Editorial Universitaria; 1984
- Mayurama M. Hierarchists, individualists, and mutualists: three paradigms among planners. Futures. 1974; 6: 103-113
- Méthot PO. Introduction : Qu'est-ce que la philosophie de la Biologie ? Dossier Philosophie de la biologie, Phares. 2014 ; 14 :4-9
- Motterlini M. For and against method. Imre Lakatos and Paul Feyerabend. Chicago and London: The University of Chicago Press;1998
- Moussavou-Boussougou M.N., Silvestre A, Cortet J, Sauvé C, Cabaret J. Substitution of benzimidazole-resistant nematodes for susceptible nematodes in grazing lambs. Parasitology. 2007; 134: 553-560
- Nickles T. Historicist Theories of Scientific Rationality, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Disponible à <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/rationality-historicist/> (Consulté 13 octobre 2023)
- Nussbaum MC. Symposium on Amartya Sen's philosophy. 5. Adaptive preference and women's options. Eco and Phil. 2001; 17: 67-88
- Orensanz M & Denegri G. La helmintología según

la filosofía de la ciencia de Imre Lakatos. Salud Colectiva. 2017;13 :139-148. Disponible à

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73150530011> (Consulté le 7 octobre 2023)

- Ortiz Ocaña A. El pensamiento filosófico de Humberto Maturana: La autopoiesis como fundamento de la ciencia. Espacios. 2017 ; 38 : 31-43
- Parodi AL. Un aperçu sur la recherche vétérinaire en France. 2019. Disponible à <https://www.frm.org/fondation/notre-histoire/livre-pierre-joly/interview-laurent-parodi> (Consulté le 4 octobre 2023)
- Passeron J-C. Le Raisonnement sociologique. Paris: Nathan; 1991
- Peirce C S. Philosophical Writings of Peirce. Justus Buchler, ed., first published as The Philosophy of Peirce: Selected Writings. New York: Harcourt, Brace and Company; 1940. Routledge and Kegan Paul; 1940. 11. Abduction. Reprinted, Dover; 1955
- Popper KR. Realism and the aim of science. London and New York: Routledge; 1996
- Popper KR. The Logic of Scientific Discovery. New York: Harper and Row; 1959
- Rosenberg A. What Rosenberg's philosophy of economy is not. Philosophy of science. 1986; 53: 127-132
- Rothman KJ & Greenland S. Causation and causal inference in epidemiology. Am J Public Health. 2005; 95 Suppl 1: S144-50. doi: [10.2105/AJPH.2004.059204](https://doi.org/10.2105/AJPH.2004.059204)
- Saddiqi HA, Jabbar A, Babar W, Sarwar M, Iqbal Z, Cabaret J. Contrasting views of animal healthcare providers on worm control practices for sheep and goats in an arid environment. Parasite. 2012; 19: 53-61
- Tracey AK. The One Medicine concept: its emergence from history as a systematic approach to re-integrate human and veterinary medicine. Emerg Top Life Sci. 2021; 5: 643–654
- Van Wyk JA & Bath GF. The FAMACHA© system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. Vet Res. 2002; 33: 509-529
- Van Wyk JA. Refugia -overlooked as perhaps the most potent factor concerning the development of anthelmintic resistance. Onderstepoort J Vet Res. 2001; 68/ 55-67
- Varela FJ. Connaître. Les sciences cognitives. Tendances et perspectives. Paris, Seuil, 1989
- Von Uexküll J. Mondes animaux et monde humain. Paris, Denoël, 1965

