



HAL
open science

Dagognet et les sciences de la Terre

Sébastien Dutreuil

► **To cite this version:**

Sébastien Dutreuil. Dagognet et les sciences de la Terre. François Dagognet: Philosophe, épistémologue, 2019. hal-03087782

HAL Id: hal-03087782

<https://hal.science/hal-03087782>

Submitted on 24 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.

Dagognet et les sciences de la Terre

Dutreuil Sébastien

En 1977, dans un article paru dans *Les Études philosophiques*, Dagognet écrivait la chose suivante :

Les sciences dites de la Terre – nous semble-t-il – n’ont que rarement et faiblement inspiré la théorie philosophique ou épistémologique, surtout si l’on compare leur "prise en compte" à celles des mathématiques ou même de la biologie, qui, toutes deux, à des titres divers, ont enrichi et stimulé la réflexion.¹

Quatre décennies plus tard, la situation que décrivait Dagognet n’a guère changé, quoiqu’elle fût sans doute contingente. Le constat qu’il faisait en se tournant vers les philosophies de Descartes, de Comte et de Bachelard pourrait être reconduit à l’identique : les géosciences restent largement méconnues des philosophes contemporains. Il suffit pour s’en convaincre d’examiner les nombreux manuels et anthologies qui structurent la philosophie des sciences en France² ou les travaux des dernières décennies sur le statut des théories scientifiques³, des modèles et simulations numériques⁴, des lois de la nature, des explications et de la causalité⁵, des débats sur le concept d’émergence et des relations entre tous et parties⁶, du statut des individus en philosophie et dans les sciences⁷. Même l’émergence d’une philosophie pluraliste des sciences, pourtant attentive à la diversité des savoirs, des ontologies et des pratiques scientifiques, s’est faite en ignorant les géosciences⁸. Bien sûr, des exceptions existent⁹ mais celles-ci restent quantitativement marginales devant une tendance de fond en philosophie des sciences, suivant laquelle les réflexions philosophiques ont été et sont conduites à partir de l’analyse des sciences physiques et biologiques, et non des géosciences. La situation serait différente pour ce qui concerne l’histoire des sciences : nous y revenons en conclusion.

¹ F. Dagognet, « Un oubli certain, un probable retour », *Les études philosophiques*, 1, 1977, p. 31.

² D. Andler, A. Fagot-Largeault, & B. Saint-Sernin, *Philosophie des sciences*, volume I et II, Gallimard, 2002 ; A. Barberousse, D. Bonnay, & M. Cozic, *Précis de philosophie des sciences*, Vuibert, 2011 ; A. Barberousse, M. Kistler, & P. Ludwig, *La philosophie des sciences au XX^e siècle*, Flammarion, 2011 ; A. Brenner & J. Gayon, *French studies in the philosophy of science : contemporary research in France*, Springer, 2009 ; S. Laugier & P. Wagner, *Philosophie des sciences : naturalismes et réalismes*, Vrin, 2004.

³ M. Vorms, *Qu’est-ce qu’une théorie scientifique?*, Vuibert, 2011.

⁴ M. S. Morgan & M. Morrison, *Models as mediators*, Cambridge University Press, 1999 ; F. Varenne, *Du modèle à la simulation informatique*, Vrin, 2007 ; M. Weisberg, *Simulation and similarity : using models to understand the world*, Oxford University Press, 2013.

⁵ M. Kistler, *Causalité et lois de la nature*, Vrin, 2000 ; P. Kitcher, Explanatory unification, *Philosophy of Science*, 48, 1981, p. 507-531 ; W. Salmon, *Four decades of scientific explanation*, University of Pittsburgh Press, 1990 ; J. Woodward, *Making things happen : a theory of causal explanation*, Oxford University Press, 2003.

⁶ T. Martin, *Le tout et les parties dans les systèmes naturels : écologie, biologie, médecine, astronomie, physique, chimie*, Vuibert, 2007

⁷ F. Bouchard & P. Huneman, *From Groups to Individuals : Evolution and Emerging Individuality*, The MIT Press, 2013 ; A. Guay & T. Pradeu, *Individuals Across the Sciences*, Oxford University Press, 2015 ; P. Ludwig & T. Pradeu, *L’individu : perspectives contemporaines*, Vrin, 2007.

⁸ N. Cartwright, *The dappled world : a study of the boundaries of science*, Cambridge University Press, 1999 ; J. Dupré, *The disorder of things : Metaphysical foundations of the disunity of science*, Harvard University Press, 1993 ; P. Galison & D. J. Stump, *The disunity of science : boundaries, context and power*, Stanford University Press, 1996 ; S. Kellert & H. Longino, *Scientific pluralism*, University of Minnesota Press, 2006 ; S. Rupy, *Pluralismes scientifiques : Enjeux épistémiques et métaphysiques*, Hermann, 2013.

⁹ R. N. Giere, *Explaining science : A cognitive approach*, The University of Chicago Press, 1988, chapitre 8 ; I. Hacking, *The social construction of what?*, Harvard University Press, 1999, chapitre 7 ; N. Oreskes, K. Shrader-Frechette, & K. Belitz, « Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences », *Science*, 263, 1994, p. 641-646.

Dagognet est ainsi l'un des rares épistémologues à s'être intéressé de près aux sciences de la Terre, dont il avait une connaissance étendue et précise. Plusieurs de ses ouvrages abordent ces sciences : *Une épistémologie de l'espace concret*, paru en 1977, *Faces, surfaces, interfaces* paru en 1982, et sa *Philosophie de l'image*, paru en 1986¹⁰.

Les sciences de la Terre comprennent un ensemble vaste de disciplines, incluant la minéralogie, la pétrologie, la climatologie, l'océanographie, la sismologie, l'étude du magnétisme terrestre, la planétologie comparée, la géomorphologie, ou encore l'étude de l'histoire de la Terre. Si Dagognet est amené à croiser plusieurs de ces disciplines, ses analyses sont concentrées sur la géomorphologie, c'est-à-dire l'étude des formes et reliefs de la surface terrestre, et, quoique dans une moindre mesure, sur les disciplines visant à reconstituer l'histoire de la Terre.

Nous repartons du constat de Dagognet suivant lequel les sciences de la Terre ne sont pas des sciences expérimentales puis reprenons ses analyses méthodologiques et philosophiques sur ces sciences. Pour lui, elles doivent être comprises comme des sciences visant à décrire des formes et à en reconstituer la genèse, l'histoire et l'évolution. Nous montrons ensuite que l'intérêt de Dagognet pour les sciences de la Terre ne se situe pas seulement à un niveau épistémologique ou méthodologique. Pour le philosophe, ces sciences sont l'occasion de célébrer une philosophie de la nature montrant le caractère ordonné, quoiqu'hétérogène et différencié, de la Terre et de la nature.

1 Des sciences non expérimentales

Le point de départ important de l'analyse de Dagognet, explicité au début de son *Épistémologie de l'espace concret*, est le constat suivant : les sciences de la Terre sont bien des sciences matérielles, mais ne sont pas des sciences expérimentales.

Dagognet indique plusieurs objections qu'on pourrait lui faire en mettant en avant par exemple l'essor de la minéralogie et de la pétrologie expérimentales qui permettent, en faisant varier les conditions de pression et de température, de créer de nouveaux minéraux et d'analyser, en laboratoire, les conditions de possibilité d'existence de telle roche ou de tel minéral.

De même, en tectonique, un usage important est fait des modèles analogiques qui permettent, à une échelle réduite, avec des matériaux appropriés, de reproduire les structures des déformations de la croûte terrestre. Ainsi, diverses couches de sable ou de silicone, placées dans une enceinte dont on peut faire varier le volume, vont se déformer à mesure que l'on comprime ces différentes couches. Ces modèles permettent d'en apprendre davantage sur les processus mécaniques à l'œuvre dans les déformations de la croûte terrestre.

Mais Dagognet balaie ces objections en soulignant l'importance de nombreux processus plus difficiles à reproduire en laboratoire : l'effet des vivants sur la morphologie de la surface terrestre, l'effet des variations du climat ou la simple action d'un fleuve sur un galet.

De là, Dagognet nous invite à comprendre les sciences de la Terre, et la géomorphologie en particulier, comme une science « néo-géographique » – c'est le sous-titre de l'*Épistémologie de l'espace concret* –, comme une science topographique, une science des lignes, des surfaces et de leurs transformations, mais également une science des signes, des traces et des symptômes. C'est cette analyse et les conséquences que Dagognet en tire que nous reprenons dans la suite.

¹⁰ F. Dagognet, *Une épistémologie de l'espace concret : néogéographie*, Vrin, 1977 ; F. Dagognet, *Philosophie de l'image*, Vrin, 1986 ; F. Dagognet, *Faces, surfaces, interfaces* [1982], Vrin, 2007.

2 Les techniques d'imagerie

Dans la *Philosophie de l'image*, Dagognet a attiré l'attention sur une ambition épistémologique importante des sciences de la Terre : comme de nombreuses autres sciences telles que la médecine, elles visent à produire des images, décrire des formes et repérer des structures.

La réflexion et la réfraction sismique est l'un des nombreux exemples travaillés par Dagognet. Cette technique repose sur le déclenchement de séismes artificiels. Les ondes sismiques se propagent dans les premiers kilomètres de la croûte et sont réfléchies notamment lorsqu'elles rencontrent une interface entre deux couches aux propriétés mécaniques distinctes. Les ondes réfléchies parviennent ensuite à une série de capteurs, une flûte d'hydrophones pour la sismique marine. Les enregistrements permettent d'obtenir des profils de réflexion qui donnent les temps de parcours des ondes pour une zone donnée et permettent ainsi de repérer les réflecteurs principaux. Identifier les principaux réflecteurs nous renseigne *in fine*, après un travail d'interprétation des profils, sur la disposition des couches dans les premiers kilomètres de la croûte océanique.

Un autre exemple important de technique d'imagerie en sciences de la Terre est celui de la tomographie. Depuis la fin des années 1970, nous disposons d'un modèle moyen de la Terre interne, décrivant la vitesse de propagation des différentes ondes sismiques : le modèle PREM (*Preliminary Reference Earth Model*). Lorsqu'un séisme se produit, des ondes sismiques vont se propager à l'intérieur de la Terre avant de revenir en surface. En enregistrant les temps d'arrivée de ces ondes aux différents sismomètres répartis à la surface du globe, il est possible de cartographier les vitesses de propagation de ces ondes sismiques, et notamment de repérer les écarts de vitesse de propagation de ces ondes, par rapport au modèle PREM de référence. Dans certaines zones de la Terre, les ondes se propagent plus lentement que ce que prédit le modèle de référence ; dans d'autres zones, c'est l'inverse, les ondes se propagent plus rapidement. Ce genre de technique d'imagerie a ainsi permis d'étudier en détail les hétérogénéités de l'intérieur de la Terre, et, par exemple de repérer les frontières des plaques tectoniques en subduction.

Les techniques d'imagerie en sciences de la Terre permettent ainsi de révéler l'arrangement spatial de structures qui ne sont pas immédiatement visibles. Leur importance conduit Dagognet à souligner les analogies épistémologiques entre les sciences de la Terre et les sciences médicales. Voici ce qu'il dit à propos de la réflexion sismique :

L'appareillage évoque l'auscultation médicale fondée aussi sur le retour des bruits.¹¹

Ce thème revient à de nombreuses reprises et à des niveaux de généralité plus élevés. Par exemple :

Nous assimilons la Géologie à une science des signes (les traces), à l'égal de la pathologie, qui, sous les symptômes, discerne aussi une évolution.¹²

Ou encore, dans *Faces, surfaces, interfaces* :

Le vocabulaire des géologues, des cliniciens, voire des psychologues (Freud) frappent par leurs similitudes : la raison est que l'on y travaille suivant les mêmes principes, ceux d'une lecture attentive des indices (ou

¹¹ F. Dagognet, *Philosophie de l'image*, p. 70.

¹² F. Dagognet, *Une épistémologie de l'espace concret ...*, p. 78.

des symptômes) ; et, à partir d'eux, essayer d'entrevoir les soubassements, les drames productifs ou les ensembles qu'ils reflètent.¹³

La proximité entre géologie et médecine tient ainsi en grande partie à l'impossibilité, pour le médecin comme pour le géologue, d'ouvrir et de disséquer l'objet d'étude pour en révéler les structures internes. Des techniques contournées doivent intervenir, reposant sur l'interprétation de signes superficiels – c'est tout le travail de la cartographie et de la géologie de terrain – et l'imagerie de la structure interne de l'objet d'étude – ce sont les études géophysiques de l'intérieur de la Terre que nous avons indiquées. Cette proximité méthodologique a également été l'objet d'échanges effectifs et féconds entre les deux sciences : certaines techniques d'imagerie médicale, comme l'élastographie, ont emprunté à la sismologie l'analyse de la propagation des ondes de cisaillement pour analyser les propriétés mécaniques des organes internes.

Nous avons ici voulu souligner la chose suivante : un objectif épistémique central des sciences de la Terre est d'analyser la disposition de formes et de révéler des structures. Pour Dagognet, cet objectif, pour être atteint, impose de mettre au point d'un langage particulier et de systèmes de représentations graphiques. Il est vrai qu'il a analysé plus en détail le langage et les systèmes de représentation des chimistes, notamment dans *Tableaux et langages de la chimie*¹⁴, que les systèmes de représentations, les cartes et les diagrammes des géologues¹⁵.

Dagognet fait néanmoins remarquer en passant l'importance méthodologique centrale des cartes géologiques, des systèmes de représentation et de condensation d'informations géographiques et géologiques pour la production de connaissances en sciences de la Terre¹⁶. La représentation sur des cartes des directions privilégiées de déformation de l'écorce terrestre a ainsi permis de révéler une structuration importante de ces déformations à grande échelle. De même, l'adoption d'un langage commun de représentation des roches présentes à la surface de la Terre révèle la continuité géologique entre le Sud-Ouest de l'Angleterre et le Nord-Est de la France.

3 Morphogénèse et histoire de la Terre

Dagognet ne s'intéresse pas seulement aux sciences structurales visant à décrire les formes et structures de la surface et de l'intérieur de la Terre mais également, et en lien avec ces dernières, aux sciences historiques visant à reconstituer l'histoire de la Terre. Comme les sciences de la vie, les sciences de la Terre peuvent être considérées comme des sciences historiques ; et si elles visent parfois à établir des lois ou repérer des régularités, c'est toujours à propos d'objets qui sont de part en part historiques¹⁷.

La question épistémologique centrale devient alors celle de savoir comment l'on passe d'une analyse des structures actuelles à la reconstitution historique de la genèse de ces structures :

Comment discerner le temps dans l'espace? Par quels moyens apercevoir des successions au milieu d'une masse d'un seul tenant? Quels indices (ou

¹³ F. Dagognet, *Faces, surfaces ...*, p. 45.

¹⁴ F. Dagognet, *Tableaux et langages de la chimie : essai sur la représentation* [1969], Champ Vallon, 2002.

¹⁵ Sur l'importance des cartes, des diagrammes et d'un langage visuel en géologie, voir l'article fondateur : M. J. S. Rudwick, « The emergence of a visual language for geological science 1760-1840 », *History of science*, 14, 1976, p. 149-195.

¹⁶ F. Dagognet, *Une épistémologie de l'espace ...*, p. 109-110 ; F. Dagognet, *Philosophie de l'image*, p. 80 sq.

¹⁷ Sur le statut des sciences de la vie, voir J. Gayon, « De la biologie comme science historique », *Sens public*, 2004.

traces) faut-il rechercher? Comment lire des volumes, les archives du Roman de la nature qui comporte de nombreux épisodes?¹⁸

Pour répondre à ces questions, Dagonnet rappelle les différents principes de stratigraphie, comme celui de superposition qui dit qu'une strate est plus récente que les strates sur lesquelles elle s'est déposée, ou celui de recoupement qui affirme que la structure qui en recoupe d'autres est plus récente que ces dernières.

Il analyse surtout en détail l'élaboration de la théorie de formation des atolls de Darwin¹⁹. Il montre d'abord comment une raison géographique est à l'œuvre dans l'élaboration de cette théorie : un travail préalable à l'élaboration de la théorie consiste à documenter la répartition spatiale des lagunes, des récifs bordant les continents, et des volcans. Le repérage de trois types morphologiques distincts – le récif frangeant, le récif-barrière, les atolls – et l'analyse des cas intermédiaires permettent ensuite de penser la possibilité d'une transformation de l'un de ces types en l'autre. L'ajout d'analyses portant sur la biologie des coraux permettra de parvenir à la théorie, encore acceptée aujourd'hui, suivant laquelle les atolls résultent de la subsidence progressive d'un volcan, autour duquel se construit le récif corallien à mesure que le volcan s'enfonce.

4 Philosophie de la nature

Certaines des analyses de Dagonnet appartiennent moins au registre de l'épistémologie comprise comme l'analyse des méthodes et concepts scientifiques qu'à celui d'une philosophie de la nature visant à mettre en avant et célébrer certaines caractéristiques propres à la nature.

Voici par exemple comment s'ouvre le chapitre de sa *Philosophie de l'image* consacré aux sciences de la Terre :

Que de raisons ont poussé les hommes à croire notre sous sol livré au désordre, habité par des puissances malfaisantes! La Terre, patrie de l'invisible noir et des morts, recèlerait toujours des dangers.²⁰

Contre cette vision, Dagonnet s'efforce de montrer comment les sciences de la Terre des derniers siècles ont au contraire donné à voir un sous-sol différencié, ordonné et structuré. C'est une conclusion importante que Dagonnet tire de l'analyse de l'ensemble des méthodes d'imagerie de la structure interne du globe et de leurs résultats.

Dans l'*Épistémologie de l'espace concret*, Dagonnet célèbre une autre caractéristique de la nature : les processus de création de forme et de différenciation. Contre l'idée d'une dégradation incessante du globe et contre l'idée d'une tendance générale à l'aplanissement des reliefs, Dagonnet met en avant un ensemble de processus, y compris de processus d'érosion, qui contribuent à créer des formes différenciées et des hétérogénéités.

Les trois exemples qu'il prend sont les suivants. Le premier est celui des aiguilles de granite que l'on trouve par exemple en Sardaigne. Une topographie initialement verticale permet à l'eau de ruisseler sur les parties supérieures du relief, sans s'y attarder, et d'éroder la base de ces aiguilles, là où elle peut stagner davantage. L'action d'érosion de l'eau, loin d'aplanir les reliefs, vient ici renforcer et accentuer une verticalité initiale. Le second est celui des *taffoni*. Ce sont des structures d'érosion

¹⁸ F. Dagonnet, « Un oubli certain ... », p. 107.

¹⁹ F. Dagonnet, *Une épistémologie de l'espace...*, p. 78 sq.

²⁰ F. Dagonnet, *Philosophie de l'image...*, p. 63.

asymétrique des blocs de granite que l'on retrouve souvent en bord de mer et qui résultent d'une désagrégation mécanique des blocs suite à l'infiltration d'eau et de sel. Cette infiltration se fait préférentiellement du côté exposé à la mer et donne ainsi naissance à ces blocs asymétriques. Le troisième enfin est celui des grès de Fontainebleau. L'infiltration d'eau dans des dépôts sableux permet la cimentation et la grésification de certaines parties de ces dépôts. Et Dagognet célèbre alors un processus qui conduit à la différenciation d'un dépôt, à la création de formes ordonnées, dans le sous-sol, avant que les blocs de grès ne soient exhumés.

Voici ce qu'il conclut de l'analyse de ces trois exemples :

Les aiguilles, les niches, les chaos de grès, – dans les trois cas, – nous avons cru saisir sur de simples fragments rocheux granitiques, des opérateurs de détachement, d'inégalité et de surrection. Tous s'inscrivent à l'encontre d'une géologie de nivellement et d'épuisement. La Nature marche donc vers l'hétérogène.²¹

5 Remarques finales

Après avoir présenté certaines des analyses méthodologiques ou épistémologiques et d'autres appartenant plus spécifiquement au registre d'une philosophie de la nature, nous voudrions conclure par quelques remarques visant à situer les travaux de Dagognet dans le champ de l'histoire des sciences de la Terre.

Si on laisse de côté les travaux consacrés à Darwin et aux croisements entre sciences de la vie et géologie au sein de la paléontologie, trois thématiques principales dominent l'histoire des sciences de la Terre, associées à des périodes historiques précises. La première est celle de la constitution de la géologie comme discipline au tournant entre le XVIII^e siècle et le XIX^e siècle dans le sillage de la fin de l'Histoire Naturelle, se séparant entre biologie et géologie²². La seconde porte sur les conceptions du temps en géologie, les controverses de la stratigraphie ou la géologie considérée comme discipline historique depuis la fin du XVIII^e siècle jusqu'au cœur du XIX^e siècle²³, avec certains travaux, plus rares, sur le XX^e siècle²⁴. La dernière est l'analyse des conceptions physiques du globe, des théories de la Terre du XVIII^e siècle à l'essor de la géophysique en période de guerre froide²⁵, avec deux champs de

²¹ F. Dagognet, *Une épistémologie de l'espaces...*, p. 106.

²² G. Gohau, *Une histoire de la géologie*, Seuil, 1990 ; R. Laudan, *From mineralogy to geology : the foundations of a science, 1650-1830*, The University of Chicago Press, 1987.

²³ G. Gohau, *Naissance de la géologie historique : La terre, des théories à l'histoire*, Vuibert, 2003 ; S. J. Gould, *Time's arrow, time's cycle : Myth and metaphor in the discovery of geological time*, Harvard University Press, 1987 ; M. J. S. Rudwick, *The great Devonian controversy : the shaping of scientific knowledge among gentlemanly specialists*, The University of Chicago Press, 1985 ; M. J. S. Rudwick, *Bursting the limits of time : the reconstruction of geohistory in the age of revolution*, University of Chicago Press, 2005 ; J. A. Secord, *Controversy in Victorian geology : the Cambrian-Silurian dispute*, Princeton University Press, 1986.

²⁴ C. Lewis, *The dating game* [2000], Cambridge University Press, 2012 ; M. J. S. Rudwick, *Earth's deep history : how it was discovered and why it matters*, The University of Chicago Press, 2014.

²⁵ R. D. Launius, J. R. Fleming, & D. H. DeVorkin, *Global polar science : reconsidering the international polar and geophysical years*, Palgrave, 2010 ; N. Oreskes & J. R. Fleming, « Why geophysics? », *Studies in History and Philosophy of Science Part B : Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31, 2000, p. 253-257.

prédilection : la tectonique des plaques ou la géophysique de l'intérieur de la Terre²⁶ ; la physique de l'atmosphère et de l'océan, de la météorologie à la climatologie²⁷.

L'originalité des analyses de Dagognet a été de s'intéresser à une voie médiane entre les sciences géophysiques et les sciences historiques, en se focalisant sur la géomorphologie comprise comme néo-géographie, c'est-à-dire comme science des formes, des surfaces, des lignes et de leurs histoires. Si les conceptions *physiques* de la Terre ont reçu une attention particulière de la part des historiens des sciences, il est remarquable de constater à quel point les conceptions *chimiques* du globe ont reçu peu d'attention. L'histoire dans la longue durée de la géochimie, *alter ego* de la géophysique, a ainsi échappé aussi bien aux historiens de la géologie qu'aux historiens de la chimie – et Dagognet était l'un des rares à être autant l'un que l'autre.

S'il est un caractère frappant de l'analyse de Dagognet, c'est sa transversalité. La dimension encyclopédique de son projet lui permet ainsi de repérer des ressemblances et des analogies entre des domaines très séparés du savoir. De même que dans les analyses des « styles de pensée » de Crombie ou des « styles de raisonnement » de Hacking, de même, ce qui est en jeu dans l'analyse de Dagognet, c'est moins l'objet d'une discipline constituée (comme « la Terre » pour l'ensemble des sciences de la Terre) que la méthode qui est à l'œuvre et est transversale à d'autres sciences qu'il a analysées, comme les sciences médicales, la biogéographie, la chimie, la géographie humaine, ou l'épidémiologie.

²⁶ V. DeParis & H. Legros, *Voyage à l'intérieur de la Terre*, CNRS Éditions, 2000 ; N. Oreskes, *The rejection of continental drift : Theory and method in American Earth science*, Oxford University Press, 1999 ; N. Oreskes, *Plate tectonics : an insider's history of the modern theory of the Earth*, Westview, 2003.

²⁷ E. M. Conway, *Atmospheric science at NASA : a history*, John Hopkins University Press, 2008 ; J. R. Fleming, *Historical perspectives on climate change*, Oxford University Press, 1998 ; J. R. Fleming, *Inventing Atmospheric Science*, The MIT Press, 2016 ; H. Guillemot, *La modélisation du climat en France des années 1970 aux années 2000 : histoire, pratiques, enjeux politiques*, Thèse de Doctorat, Paris, EHESS, 2007 ; S. Weart, *The discovery of global warming*, Harvard University Press, 2003.