Argumenter dans les sciences de la nature : l'exemple d'un article d'astrophysique

Catherine Allamel-Raffin et Jean-Luc Gangloff

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/cps/2722>
DOI : 10.4000/cps.2722
ISSN : 2648-6334

Éditeur

Presses universitaires de Strasbourg

Édition imprimée

Date de publication : 15 décembre 2010
Pagination : 9-43
ISBN : 978-2-35410-031-5
ISSN : 1254-5740

Référence électronique

Catherine Allamel-Raffin et Jean-Luc Gangloff, « Argumenter dans les sciences de la nature : l'exemple d'un article d'astrophysique », *Les Cahiers philosophiques de Strasbourg* [En ligne], 28 | 2010, mis en ligne le 15 mai 2019, consulté le 08 novembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cps/2722> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cps.2722>

Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions
4.0 International - CC BY-NC-SA 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Argumenter dans les sciences de la nature : l'exemple d'un article d'astrophysique

Catherine Allamel-Raffin &
Jean-Luc Gangloff

Introduction

Le philosophe des sciences et le sociologue antidifférenciationniste

À partir de quels matériaux de base le philosophe étudie-t-il les démarches et évalue-t-il la portée épistémique des résultats obtenus dans les sciences de la nature ? Thomas S. Kuhn a ironisé sur ce point en suggérant que la distinction entre contexte de découverte et contexte de justification notamment ne donnait pas lieu à des analyses plausibles, dès lors que les philosophes se contentent de trouver leurs sources dans une « science des manuels ». Ils ont alors tendance à prendre les exemples d'application des théories qui figurent dans les dits manuels pour des preuves à l'appui de ces théories, rôle que jouèrent effectivement certaines de ces applications, mais pas toutes. Une telle conception suppose de toute manière une restriction abusive du champ des considérations qui jouent un rôle déterminant dans le processus de validation des théories¹. D'une manière similaire, Ian Hacking relève que l'importance de la procédure de reproduction à l'identique d'une expérience, dans le cadre des procédures de justification des résultats, a

1 Kuhn T.S., Objectivité, jugement de valeur et choix d'une théorie, in *La tension essentielle*, Paris, Gallimard, 1990, p. 424-449. Kuhn précise : « Le contexte de la pédagogie diffère au moins autant du contexte de la justification que du contexte de la découverte » (p. 433).

été extrapolée à partir de la considération des travaux pratiques réalisés dans les premiers cycles d'études universitaires. Or, en dehors de ce type de contexte, « personne, jamais, ne répète une expérimentation. Des réplifications expérimentales sérieuses prennent typiquement la forme de tentatives visant à faire mieux – en produisant une version plus stable, comportant moins de bruit, d'un phénomène donné »². Ces remarques critiques nous engagent à orienter notre attention d'abord vers un truisme : la philosophie des sciences constitue elle-même un ensemble de propositions portant *sur* un objet. Dans un second temps, la détermination de cet objet a pour conséquence un tri au sein des sources d'information potentielles, et une telle opération de sélection s'effectue nécessairement au profit de sources jugées pertinentes au détriment d'autres, considérées comme négligeables eu égard au type de description ou d'analyse que l'on compte mener. C'est sur ce point que se focalisent depuis une quarantaine d'années les critiques adressées aux philosophes par plusieurs courants de sociologie des sciences, que nous regrouperons à la suite de Pascal Ragouet et de Terry Shinn sous l'étiquette d'« antidifférenciationnistes »³. L'enjeu du débat concerne

- 2 Hacking I., *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983, p. 230 (notre traduction). Voir également, pour une approche sociologique portant sur le même point, l'article de Gérard Darmon et Benjamin Matalon : Recherche sur les pratiques de vérification des expériences scientifiques. Deux études de cas, *L'année sociologique*, 36, 1986, p. 209-238.
- 3 Ragouet P. & Shinn T., *Controverses sur la science*, Paris, Raisons d'agir, 2005. Dans cet ouvrage, les auteurs définissent ce qu'ils appellent la position différenciationniste en sociologie des sciences comme suit : le différenciationniste défend l'idée d'une connaissance scientifique distincte des autres formes de connaissance et souscrit à l'hypothèse d'une institutionnalisation de l'activité scientifique séparée des autres champs sociaux. Par conséquent, il accepte « en se focalisant largement sur l'élucidation des conditions sociales de l'activité scientifique, de voir les contenus cognitifs de la science échapper au domaine d'investigation de la sociologie » et rejette « l'idée d'une influence des facteurs sociaux sur les énoncés théoriques et les techniques expérimentales des scientifiques » (p. 69). C'est à la philosophie des sciences qu'incombe la tâche de dégager les facteurs explicatifs de l'activité et des résultats de la science. Les sociologues antidifférenciationnistes s'opposent à un tel partage des tâches : selon eux, le contenu cognitif de la science peut être expliqué avec les ressources de la seule sociologie, ce qui les amène à « se défier de la philosophie des sciences

en l'occurrence la manière appropriée de *rendre compte* de l'activité et des résultats obtenus dans le cadre des sciences de la nature. Le défaut constitutif de l'approche philosophique selon les antidifférenciationnistes réside sinon dans le rejet, du moins dans le statut accessoire accordé à la *dimension sociale des sciences*. Une telle critique s'applique avant tout à l'approche qui fut celle du positivisme logique et à sa suite, du courant dominant de la philosophie des sciences anglophone. La visée idéal-typique correspondant à une telle approche, telle que la reconstitue Jean-Michel Berthelot⁴, consiste à envisager l'activité scientifique comme un type de démarche intellectuelle incluant un ensemble d'opérations ramené à une épure logique: la prise en considération initiale d'une énigme, la formulation selon les cas d'une hypothèse, d'un modèle, ou d'une théorie, leur mise à l'épreuve des faits, la production de nouveaux faits, les aménagements ou les révisions des hypothèses. « Le philosophe s'intéresse à la nature et à l'évaluation logique et sémantique de ces opérations et de leur résultat et postule qu'elles sont identiques, quels

qu'ils conçoivent comme inutile et erronée » (p. 70). La base de l'explication pertinente sera constituée par « les facteurs d'ordre culturel, les intérêts sociaux et les relations de pouvoir qui jouent un rôle prééminent dans l'acceptation ou le rejet des résultats, dans leur validation ou leur invalidation » (p. 70). Les antidifférenciationnistes appartiennent à plusieurs courants qui ont souvent entretenu et entretiennent encore des relations conflictuelles. On peut distinguer: « (1) les approches 'fortistes' et 'péri-fortistes', c'est-à-dire plus ou moins inspirées du 'Programme fort' (Barry Barnes, David Bloor, Donald MacKenzie, Andrew Pickering), (2) les approches ethnographiques du travail empirique (Karin Knorr-Cetina, Bruno Latour et Steve Woolgar, Michael Lynch, Trevor Pinch) et (3) les approches radicalement constructivistes (Michel Callon, Bruno Latour, John Law, Michael Lynch) » (p. 70-71). Ajoutons qu'il est évidemment possible – et même salutaire selon nous – de sortir de la fausse alternative que semblent constituer les positions désignées au moyen des termes « différenciationnisme » et « antidifférenciationnisme ». C'est ce que se proposent de faire Shinn et Ragouet eux-mêmes en adoptant un point de vue qu'ils baptisent « transversalisme ». Mais cela vaut également pour tous ceux qui prennent au sérieux l'idée d'une logique cognitive propre à la science. Tout en étant – et en voulant rester sociologue –, il est parfaitement possible de reconnaître que cette logique cognitive ne se confond pas avec d'autres logiques, par exemple celle de la demande sociale d'explication ou d'application des résultats, celle de la politique scientifique générale adoptée, etc.

4 Berthelot J.-M., *L'emprise du vrai. Connaissance scientifique et modernité*, Paris, Puf, 2008.

que soient les contextes.»⁵ Les antidifférenciationnistes s'inscrivent en faux contre cette décontextualisation. Ils mettent l'accent sur le fait que pour mener à bien l'ensemble des opérations précédemment évoquées, les scientifiques doivent recourir à un double dispositif social qui ne saurait être mis entre parenthèses: d'une part, un *dispositif technique* incluant le laboratoire, les instruments de calcul et d'observation, les structures institutionnelles de production et de cumulation des connaissances; d'autre part, le *dispositif des modalités de communication* des résultats pouvant s'effectuer au moyen de canaux variés, mais «exigeant une condition commune de possibilité: l'existence de *textes*»⁶. Contestant l'approche philosophique dominante, les antidifférenciationnistes développent la stratégie suivante: ils soulignent d'abord que le poids des deux dispositifs, technique et communicationnel, a été sous-estimé et réalisent par conséquent eux-mêmes des études empiriques centrées sur ces dispositifs tels qu'ils se sont développés dans des contextes déterminés. Ils affirment que les conclusions auxquelles on parvient lorsqu'on vise à rendre compte de l'activité scientifique s'en trouvent fondamentalement modifiées. On assiste ainsi à partir des années 1970 au développement de recherches destinées à décrire et à cerner l'importance des processus caractérisant le dispositif technique: ce seront les travaux classés sous les rubriques «études de controverse» et «études de laboratoire»⁷. D'autres études se concentrent sur le dispositif communicationnel et privilégient donc les publications – en particulier, les articles rédigés par les scientifiques à l'issue de leurs travaux sur un thème de recherche donné. A propos de ces articles, les antidifférenciationnistes souscrivent

5 *Ibid.*, p. 13.

6 *Ibid.*, p. 18.

7 Parmi les études de controverse les plus représentatives du genre, on peut citer l'ouvrage de Steven Shapin & Simon Schaffer, *Léviathan et la pompe à air* (Paris, La Découverte, 1993). L'étude de laboratoire la plus immédiatement accessible est constituée par *La vie de laboratoire* de Bruno Latour et Steve Woolgar (Paris, La Découverte, 1988).

à une *orientation littéraire*⁸. Il est pourtant possible de privilégier une *orientation argumentative*⁹, lorsqu'on souhaite les analyser.

Orientation littéraire et orientation argumentative dans l'analyse des publications scientifiques

Les deux orientations peuvent être contrastées à partir d'une définition initiale de l'article scientifique comme « intertexte référentiel à vocation probatoire systématique »¹⁰. Elles n'accordent pas en effet une même signification à ces termes. L'intertextualité, selon l'orientation littéraire, consiste avant tout en une occasion de « reconstruire une histoire » (rappel de l'état de la question, indication quant à la continuité ou la rupture induite par les résultats présentés par rapport aux théories déjà admises)¹¹, tandis que pour les tenants de l'orientation

8 Dominique Vinck, dans un ouvrage d'introduction à la sociologie des sciences qui accorde une grande place aux positions antidifférenciationnistes, résume ainsi la caractérisation de l'écrit correspondant à l'orientation littéraire : « *La publication scientifique est un genre littéraire* à part entière. Elle présente à un auditoire particulier une contribution qui paraît originale et tente ainsi de modifier le comportement de ses lecteurs : retenir son attention, changer sa perception, l'engager à utiliser les résultats publiés et citer l'auteur. » Remarquons au passage la faible spécificité d'une telle caractérisation qui peut s'appliquer à peu près à tout type d'écrit. (Vinck D., *Sciences et société. Sociologie du travail scientifique*, Paris, Armand Colin, 2007, p. 227).

9 Berthelot, *op. cit.*, p. 53-54.

10 Berthelot J.-M., *Figures du texte scientifique*, Paris, Puf, 2003, p. 48.

11 Vinck, *op. cit.*, p. 229. Il va de soi que « l'histoire » en question ne correspond pas à une réalité, d'où le choix du terme. Enoncé dans les termes de Lorenza Mondada : « L'introduction de l'article fonctionne comme une texture qui remplace les circonstances de l'action pratique : elle décontextualise les processus scientifiques tout en proposant au lecteur une recontextualisation servant les ressources visées et la délimitation du domaine concerné. » (Mondada L., *La construction discursive des objets de savoir dans l'écriture de la science*, *Réseaux* n° 71, 1995, p. 58). L'intertextualité telle qu'elle se présente dans l'article donne lieu à d'autres critiques encore : elle contribue de fait à la disjonction opérée par les auteurs entre pratiques effectives de laboratoire et écriture ; elle inscrit les auteurs dans un champ agonistique au sein duquel il convient avant tout de renforcer sa propre position en se reliant à un réseau d'autres participants aux activités du champ. « (...) la division des sections méthodes et résultats dans l'article dénie pratiquement le rapport existant entre les deux, préférant relier les résultats non pas à leur processus

argumentative, elle est le signe de l'insertion dans un champ scientifique préexistant aux résultats exposés, champ pouvant être défini comme l'espace spécifique où des interactions intersubjectives ont lieu et dans lequel « le scientifique conçoit son expérimentation à la lumière de ce qui est conçu et admis »¹². Vue par les partisans de l'orientation littéraire, la référentialité est le produit d'un travail « d'externalisation » : les auteurs scientifiques présentent le phénomène étudié comme ayant une existence indépendante du texte au moyen de techniques d'écriture telles que l'utilisation de la voix passive, l'élimination des pronoms personnels, le recours à des opérations de modalisation et de démodalisation (on n'écrit pas dans un article : « Je suppose que la tache X est un nuage de poussière interstellaire », mais « La tache X est un nuage de poussière interstellaire »). La remise en question des conclusions d'autres chercheurs peut toutefois amener à écrire « Nimbus et Cosinus supposent que la tache X est un nuage de poussière interstellaire »). Ces techniques sont vues par les antidifférenciationnistes comme visant à faire croire au lecteur que la facticité des énoncés leur est conférée par des faits extérieurs, par la nature, et qu'elle est indépendante du locuteur, alors qu'en réalité, il n'en est rien. C'est bien plutôt la méthode utilisée par le ou les rédacteurs de l'article qui a permis de produire un tel effet performatif. La conclusion d'un article de Bruno Latour et Françoise Bastide intitulé « Essai de science-fabrication » paru en 1983 rend bien compte de cette perspective : « La représentation de la réalité est un résultat parmi d'autres que construisent phrase à phrase les laboratoires et les articles scientifiques, et que peuvent déconstruire, phrase à phrase, ceux qui lisent en sociologue et en sémioticien les articles scientifiques (...) »¹³. Dès lors que l'on souscrit à une telle conception de la

de production, mais à d'autres résultats, en tenant compte de relations d'analogie ou de différence, donc de concurrence ou d'alliance potentielle avec d'autres chercheurs ou instituts. » (*ibid.*, p. 58) Voir également sur ce dernier point Karin Knorr-Cetina, *The Ethnographic Study of Scientific Work*, in Knorr-Cetina K. & Mulkay M., *Science Observed*, London, Sage, 1983, p. 115-140.

12 Godin B. & Gingras Y., Expérimentation, instrumentation et argumentation, *Didaskalia* 11, 1997, p. 156.

13 Latour B. & Bastide F., Essai de science-fabrication, *Études françaises*, 19/2, 1983, p. 111-126. Voir également Latour B. & Fabbri P., La rhétorique de la science : pouvoir et devoir dans un article de science exacte, *Actes de la recherche en sciences sociales*, 13, 1971, p. 81-95.

référentialité, la vocation probatoire systématique qui constitue un autre élément de définition de l'article scientifique ne peut elle-même consister qu'en un leurre à destination des amateurs d'épistémologie. Les facteurs qui permettent d'entraîner l'adhésion de la communauté sont extrascientifiques : par exemple, la réputation acquise à la tête d'un laboratoire, le style et la présentation des résultats, l'historique des échecs passés, l'importance et le prestige de l'université d'où vient le chercheur, son degré d'intégration dans divers réseaux scientifiques, etc.

Pour les tenants de l'orientation argumentative, dont nous faisons partie, la conviction se maintient en revanche qu'il est possible de conférer une légitimité épistémique à un ensemble d'interactions qui constituent un système à trois niveaux¹⁴ : celui des interactions entre la nature et le scientifique, qui expérimente au moyen d'instruments et de techniques ; celui de la confrontation entre expérimentations et théories ou modèles (de l'instrument ou du phénomène) – confrontation supposant en raison des résistances de la nature une adaptation des instruments comme des théories ou des modèles ; les interactions entre scientifiques, « processus guidé par la rationalité pragmatique de la vie expérimentale »¹⁵. Au cours de ces interactions émerge la connaissance scientifique comme ensemble d'arguments ayant survécu aux objections. En déployant leur argumentation tout au long de leurs articles, les chercheurs visent avant tout à *convaincre* leurs lecteurs, qui sont souvent leurs pairs en matière d'expertise, de la correction de leurs mesures, de la représentativité de leurs échantillons, de la plausibilité de leurs conclusions théoriques. « S'acquitter de telles tâches suppose que l'on configure son exposé de manière à ce qu'il anticipe et bloque les objections éventuelles. »¹⁶ En ce sens, l'argumentation trouve tout naturellement sa place au sein d'une conception faillibiliste de la science.

Si bon nombre de philosophes sont susceptibles de souscrire à ce que nous avons appelé à la suite de Jean-Marie Berthelot l'orientation argumentative, peu nombreux cependant sont ceux qui ont accordé

14 Godin B. & Gingras Y., The Experimenter's Regress: from Skepticism to Argumentation, *Studies in History and Philosophy of Science*, 33, 2002, p. 137-152.

15 *Ibid.*, p. 145-146 (notre traduction).

16 Kitcher P., Persuasion, in Pera M. & Shea W., *Persuading Science. The Art of Scientific Rhetoric*, Canton (Massachusetts), Science History Publications, 1991, p. 5 (notre traduction).

une attention centrale au type de production que constitue l'article de revue scientifique à comité de lecture contemporain¹⁷. Les modèles de l'activité scientifique à prétention universelle qu'élaborent les philosophes (modèles hypothético-déductif, bayésien, de l'inférence à la meilleure explication, etc.) ne trouvent pas dans l'article isolé l'unité d'analyse pertinente. Frederick Suppe a vu précisément là une limite de ces modèles et constitue lui-même une exception notable dans la mesure où il a consacré une attention exclusive à un article de géophysique particulier, dans «The Structure of a Scientific Paper»¹⁸. Ses conclusions sur lesquelles nous reviendrons coïncident en partie avec les nôtres.

Dans les sections suivantes de notre contribution, nous allons procéder à l'étude détaillée d'un article d'astrophysique. Notre thèse centrale consiste à affirmer qu'il existe un niveau d'analyse pertinent permettant de cerner les ressorts argumentatifs qui confèrent à l'article scientifique son degré d'objectivité. Ce niveau n'est pas celui de la microanalyse pratiquée par les sociologues antidifférenciationnistes tenants de l'orientation littéraire, ni celui des modèles à prétention universelle des philosophes des sciences. Quand on adopte le niveau d'analyse dont nous postulons la fécondité, on peut mettre en évidence le fait que l'argumentation d'un article tel que celui que nous allons étudier inclut à titre de composante essentielle un type de procédure épistémique déterminé : celle qui consiste à établir un faisceau d'éléments de preuve que les auteurs et les lecteurs s'accordent ou non à reconnaître comme suffisamment robuste pour établir la plausibilité des conclusions. L'objectivité de la démarche et des résultats obtenus est dans ce cas fonction de l'application d'une procédure d'objectivation manifeste. Les chercheurs ne visent pas une objectivité qui serait affaire de tout ou rien. Leurs activités s'inscrivent bien plutôt dans le cadre d'une objectivité procédurale qui se laisse évaluer en termes de plus et de moins.

17 Il n'en va pas de même des historiens des sciences qui inscrivent celui-ci dans le panorama du genre qu'ils dressent depuis son émergence au XVII^e siècle jusqu'à ses développements les plus récents (Bazerman C., *Shaping Written Knowledge: The Genre and Activity of the Experimental Article in Science*, Madison, University of Wisconsin Press, 1988; Gross A.G., Harmon J.E., & Reidy M., *Communicating Science. The Scientific Article from the 17th Century to the Present*, Oxford, Oxford University Press, 2002)

18 Suppe F., The Structure of a Scientific Paper, *Philosophy of Science*, 65, 1998, p. 381-405.

Une thèse associée à notre thèse centrale consiste à affirmer que les images jouent un rôle essentiel dans la constitution d'un tel faisceau d'éléments de preuve. Si on aborde la question d'un point de vue pragmatique et si on se demande par conséquent ce que les images font, plutôt que d'essayer de déterminer leur nature, on constate d'emblée que leur fonction n'est en rien assimilable au fait d'illustrer simplement le contenu propositionnel de l'article.

1. L'argumentation dans un article scientifique

Nous reprenons ici le modèle proposé par Stephen Toulmin¹⁹. Celui-ci a donné lieu à de nombreuses critiques et objections que nous ne pouvons développer ici. Disons simplement qu'il se révèle malgré tout opératoire dans les limites qui sont celles de notre étude. Tout argument renferme une *thèse* énoncée en vue d'aboutir à l'assentiment général. Cette thèse est soutenue par des *données* ou des propositions portant sur des faits particuliers. Parfois, est exigée une *garantie* qui consiste à indiquer ce qui autorise le passage des données à la thèse. Parfois encore, cette garantie elle-même ne suffit pas et il faut alors invoquer un *fondement* qui dit pourquoi il faudrait accepter que la garantie proposée fasse autorité. Dans un article scientifique, les critiques peuvent porter aussi bien sur les données, que sur la garantie (par exemple l'utilisation d'un instrument déterminé en vue d'obtenir ces données) ou sur le fondement lui-même (par exemple la théorie de l'instrument en question). Nous allons maintenant aborder l'étude de l'argumentation contenue dans l'article.

2. L'argumentation générale de l'article retenu

L'article retenu constitue une parfaite illustration du travail réalisé dans le contexte de la science normale. Il est le fruit du travail de trois chercheurs (T. M. Dame, D. Hartmann, P. Thaddeus) et a pour titre: «The Milky Way in molecular clouds: a new complete CO survey» (*The Astrophysical Journal*, 547, 2001, 792-813). L'article appartient au

19 Toulmin S. E., *Les usages de l'argumentation*, Paris, Puf, 1958, 1993²; Toulmin S. E., Rieke R. & Janik A., *An Introduction to Reasoning*, New York, MacMillan Publishing Company, 1984.

domaine de la radioastronomie²⁰ et se caractérise par le fait d'être un des articles les plus cités par les pairs depuis sa publication en 2001. Il inclut deux grandes cartes d'une longueur d'1 m 50. Ces cartes constituent le principal résultat exposé dans l'article et représentent la distribution de monoxyde de carbone (CO) dans notre galaxie, la Voie Lactée. Quel est l'intérêt d'une étude de la présence de CO dans la Voie Lactée? La détection de CO constitue un moyen d'étudier les nuages de poussière interstellaire. Ces nuages de poussière méritent l'attention des astrophysiciens pour plusieurs raisons: l'une d'entre elles est qu'ils sont le lieu de naissance des nouvelles étoiles. Les nuages de poussière sont constitués de gaz atomiques et de gaz moléculaires. Il existe de nombreux gaz moléculaires: l'hydrogène 2 (H_2) est celui qui est le plus présent dans les nuages de poussières. Mais il est extrêmement difficile à détecter depuis la Terre. Le monoxyde de carbone est également un gaz moléculaire et de nombreuses études donnent à penser qu'il est mélangé avec H_2 dans les nuages de poussière interstellaire. Ainsi CO constitue un traceur de H_2 et des nuages de poussière présents dans le milieu interstellaire. Il est relativement facile à détecter (à la longueur d'onde de 2,6 mm).

Fig. 1(a), (b) : cartes radio de la présence de monoxyde de carbone dans la Voie lactée. Thomas Dame-CfA

²⁰ La radioastronomie est un sous-domaine de l'astronomie qui étudie les objets célestes dans la gamme de fréquence du spectre électromagnétique entre 0,3 et 2 500 mm.

En concevant les deux cartes, les astrophysiciens ont en vue le fait qu'elles pourront s'avérer utiles dans le cadre de la réalisation d'un grand nombre d'autres études : celles-ci peuvent porter sur la naissance d'étoiles, sur les sources de rayons cosmiques, sur la structure de la galaxie, etc.

La thèse défendue dans l'article est celle de la qualité des données produites. Elle se subdivise en deux sous-thèses : 1) les cartes du monoxyde de carbone dans la Voie lactée sont constituées de données *fiabiles* relatives à un ensemble d'entités et de propriétés ; 2) *l'intégralité* des données significatives a été prise en compte dans le cadre de l'étude.

Pourquoi les données soulèveraient-elles un problème ?

Comme William Bechtel l'a souligné²¹, et cela va à l'encontre d'une vision empiriste de la méthodologie scientifique qui estime que les énoncés empiriques de base ne soulèvent pas de problème épistémique particulier, les disputes dans les sciences sont quelquefois à propos des théories, mais bien plus souvent encore au sujet des données qui soutiennent ces théories. La plupart du temps, dans leurs publications, les scientifiques se demandent tout simplement si leurs données ou celles de leurs collègues sont fiables. Il s'agit dès lors de procéder à une « mise en accusation » (« *impeachment* ») de ces données²² afin de repérer les erreurs de jugement qui ont pu apparaître au cours de leur production et de leur interprétation.

Ce type de démarche trouve son explication dans le fait qu'en astrophysique, comme dans les sciences de la nature contemporaines en général, les processus aboutissant à l'établissement des données sont devenus extrêmement complexes. Pour produire des données telles que les images scientifiques par exemple, il faut disposer de récepteurs capables de saisir une information relative à une source (constituée par des entités ou des processus physiques) en entrant en interaction avec cette source²³. Un récepteur peut être défini comme un instrument capable de détecter la présence d'une interaction, et par conséquent les entités et les processus interagissant d'après les lois de la physique actuelle.

21 Bechtel W., L'épistémologie des données en neurosciences cognitives in P. Poirier & L. Faucher, *Des neurosciences à la philosophie*, Paris, Syllepse, 2008, p. 91-118.

22 Suppe, *op. cit.*

23 Shapere D., The Concept of Observation in Science and Philosophy, *Philosophy of Science*, 49, 1982, p. 485-525.

Quelle que soit l'information reçue par les récepteurs appropriés, il faut qu'elle puisse être conservée ou transformée, dans son état final, en une forme accessible aux modalités sensorielles humaines. Il faut d'autre part que cette information soit fiable, et cela suppose que l'on parvienne à déterminer son degré de fiabilité en suivant le trajet de l'information depuis la source jusqu'à son état final. C'est sur ce point que des difficultés majeures apparaissent en raison du « degré d'externalisation » des observations atteint dans de nombreuses disciplines des sciences de la nature contemporaines. Pour reprendre ce qu'en dit Trevor Pinch, à propos de la détection des neutrinos solaires :

*Les 'points' observés (...) n'en viennent à signifier la présence de neutrinos solaires que par rapport à d'autres étapes de la détection. Il semble que le processus d'observation se soit affiné jusqu'au point où ce qu'on pourrait appeler les 'perceptions sensorielles primitives' ou les résultats du 'dispositif d'inscription' ne forment plus que le dernier élément d'une chaîne d'inférences*²⁴.

Les inférences en question portent sur plusieurs aspects du trajet de l'information de la source au détecteur final. En ne prenant en compte que deux des quatre « dimensions de l'observabilité » répertoriées par Peter Kosso²⁵, on peut affirmer qu'il y a entre la source et le détecteur qui délivre l'information finale une certaine distance physique (« *directness* ») et une certaine distance nomologique (« *amount to interpretation* »). La mesure de la distance physique est définie par : « ... la mesure du nombre d'interactions qui doivent se trouver tout le long de la chaîne d'interactions, de l'état initial à l'état final, de telle sorte que l'information est convoyée. Formulé simplement, quelle est la longueur que doit avoir la chaîne d'interactions depuis l'objet jusqu'à l'observateur ? »²⁶. L'information acquise avec une loupe est ainsi moins directe que celle obtenue à l'œil nu, et celle obtenue à l'aide d'un microscope optique l'est encore moins. La mesure de la distance nomologique se rapporte, quant à elle, au nombre de lois physiques impliquées par la corrélation entre l'état initial et l'état final de l'information, depuis la source

24 Pinch T., Observer la nature ou observer les instruments, *Culture technique*, 14, p. 91.

25 Kosso P., Dimensions of Observability, *British Journal for the Philosophy of Science*, 39, 1988, p. 449-467 ; *Observation and Observability in the Physical Sciences*, Dordrecht, Kluwer, 1989.

26 Kosso, 1988, p. 456 (notre traduction).

jusqu'au détecteur final. Distance physique et distance nomologique entre source et détecteur final, c'est-à-dire entre les deux états, initial et final, de l'information, ne sont pas assimilables l'une à l'autre. Ces deux notions de distance physique et de distance nomologique entre la source et le détecteur final permettent de préciser ce que l'on entend par des expressions telles que «la difficulté à saisir les inobservables». Plus les deux distances sont grandes, et plus la question se pose pour les chercheurs – et en particulier pour des astrophysiciens – de savoir si l'image qu'ils viennent de produire est le résultat d'un artefact²⁷ dû à l'appareillage, ou si elle est conforme à leurs attentes et représente un aspect du réel. Ce qui complexifie encore la tâche des astrophysiciens :

- ils doivent être capables d'explicitier les raisons qui justifient leurs choix en matière de quantification et de traitement du bruit ;
- ils doivent préciser comment ils distinguent le signal pertinent des artefacts, certaines sources d'artefacts pouvant rester inconnues ;

La satisfaction de ces exigences ne peut pas consister en un simple renvoi à l'efficacité de l'instrumentation, en raison des grandes distances physique et/ou nomologique entre source et détecteur final. D'autre part, le fonctionnement des instruments ne saurait être entièrement automatisé, contrairement au rêve d'«objectivité mécanique» dont parlent Lorraine Daston et Peter Galison²⁸ pour qualifier le type d'idéal normatif qui s'est constitué – notamment à partir des moyens d'enregistrement de type photographique – aux alentours de 1830 et s'est maintenu jusqu'au début du XX^e siècle. Par conséquent, une part de choix subjectifs et de décisions idiosyncrasiques demeure toujours, quels que soient les détecteurs et les dispositifs enregistreurs utilisés. Au bout du compte, et en raison de l'extraordinaire complexité des procédures observationnelles, nous devons bien reconnaître qu'il existe, dans les laboratoires d'astrophysique en particulier, une flexibilité interprétative du type de celle qu'a définie Harry Collins²⁹ : les données empiriques produites ou collectées au cours d'une recherche donnent lieu à des

27 Le mot «artefact» est employé ici au sens d'effet indésirable produit par un instrument ou par l'environnement. Cet effet n'est pas constant à la différence du bruit.

28 Daston L. & Galison P., *Objectivity*, New York, Zone Books, 2007.

29 Collins H. M., *Changing Order. Replication and Induction in Scientific Practice*, Londres, Sage Publication, 1985.

interprétations divergentes entre lesquelles il est impossible de trancher par le recours à des arguments invoquant des causes naturelles.

Mais: 1) les scientifiques sont parfaitement conscients de l'existence d'une telle flexibilité interprétative; 2) ils cherchent à y remédier – non par le recours à des accords de type microsocial ou macro-social comme le prétend Harry Collins, mais en recourant à la constitution d'un faisceau robuste d'éléments de preuve.

L'argumentation des astrophysiciens auteurs de l'article porte donc sur la bonne qualité de leurs cartes et, par conséquent, sur celle des données qui ont permis de les concevoir. Ils cherchent à justifier que les données dans les cartes correspondent en dernière instance à des phénomènes observables dans l'univers et non à des artefacts ou à des bruits d'origines diverses. Dans ce cas, les phénomènes en question sont des nuages de poussière dans lesquels on trouve du monoxyde de carbone. De surcroît, ils affirment que leurs deux cartes rendent compte de l'intégralité des données significatives. Des cartes avec des éléments manquants ne présenteraient aucun intérêt, tout comme une carte routière qui n'indiquerait pas l'existence de certaines routes. Notre première analyse préliminaire va mettre l'accent sur les arguments présentés en vue de défendre ces deux thèses. Quels sont les arguments présentés dans les sections de l'article en vue de défendre la thèse de la fiabilité?

2.1. La thèse de la fiabilité des données

2.1.1. Premier argument: la description de l'instrumentation et du traitement des données en vue de justifier leur fiabilité

L'article débute par une description des deux télescopes utilisés³⁰, incluant un bref historique et une discussion autour de l'acquisition³¹ et de la réduction des données. Les astrophysiciens détaillent en particulier

30 Il s'agit de deux petits radiotélescopes de 1,2m, situés l'un au CfA (Cambridge, Massachusetts); l'autre à l'observatoire interaméricain Cerro Tololo au Chili. Ces télescopes ont donné lieu à des choix de calibration classiques en radioastronomie.

31 Une première étude a été réalisée entre 1979 et 1987, et ses résultats ont été publiés en 1987. Cette acquisition de données s'est prolongée jusqu'en 2000, toujours avec les deux mêmes télescopes. Les résultats, à savoir les cartes de

les procédures de calibration. Un point central dans cette sous-partie est constitué par la synthèse des données. L'étude qui a abouti à la production des deux cartes a elle-même été réalisée à partir de 37 études préalables. Le point crucial est de rendre compte de la manière dont les données des 37 études ont été rendues compatibles. Plus précisément, il s'agit d'indiquer comment la réduction du bruit a été opérée dans les différentes études. La procédure de réduction du bruit est ici particulièrement détaillée, car les astrophysiciens n'ont pas recouru à celle qui prévaut habituellement en radioastronomie. Une manière classique de traiter le bruit consiste à « lisser » les données. Pour mener à bien cette opération, le programme informatique fonctionne en établissant pour chaque pixel de l'image, une mesure moyenne des informations contenues dans les pixels adjacents. La même opération doit être réalisée pour chaque pixel. En procédant ainsi, les chercheurs obtiennent une image plus floue, de moins bonne résolution, mais plus sensible à tout ce qui est spatialement étendu, tout en n'émettant pas nécessairement un rayonnement important. La contrepartie d'une telle opération de lissage est le risque de « dissoudre » et de perdre par conséquent des informations relatives aux sources célestes émettant un rayonnement important. Cette procédure classique de réduction du bruit pose problème car, dans le cas présent, les scientifiques cherchent à obtenir une carte *précise* de la Voie Lactée – en prenant en compte à la fois des signaux radio très forts et des signaux radio très faibles émis par le monoxyde de carbone présent dans les nuages de poussière interstellaire. Par conséquent, les astrophysiciens

l'étude achevée en 1987, ont été intégrés dans la nouvelle étude. Pendant plus de vingt ans, il s'est agi d'une activité extraordinairement méticuleuse. L'un des auteurs de l'article, Thomas Dame, nous a expliqué au cours d'un entretien personnel comment les données ont été obtenues : « Nous avons observé chaque point dans le ciel à un moment donné en vue de réaliser ces images. Chaque observation d'un point donné, parce que le signal est très faible, nécessite généralement qu'on lui consacre deux à trois minutes. C'est pour cela qu'on a besoin d'un temps aussi long pour mener à bien l'étude ». Le résultat de la collecte de ces données est constitué par des cubes de données – en d'autres termes des fichiers numériques dans un format FITS. Ces fichiers numériques fournissent toutes les informations nécessaires : le moment de l'enregistrement des données, leurs coordonnées spatiales, la fréquence et les vitesses enregistrées, etc. Si les données étaient uniquement conservées dans ce format, elles ne seraient pas exploitables. Ces données brutes sont ensuite converties en images.

ne peuvent recourir à cette procédure courante. En vue de résoudre ce problème, ils emploient une technique appelée « *moment analysis* ». Celle-ci consiste à prendre le cube de données dans son intégralité et à le lisser très fortement. En procédant ainsi, les chercheurs dégradent la résolution, comme décrit précédemment. Ils obtiennent du coup une sensibilité plus grande à tout ce qui est étendu spatialement et possède un rayonnement plus faible. Ils utilisent alors ce cube de données lissé afin de réduire le bruit dans le cube de données originel, avant lissage : à chaque endroit du cube de données lissé dans lequel il n'y a pas d'émission ou peu d'émission significative, ils repèrent les coordonnées spatiales correspondantes. Dans le cube de données originel, ils éliminent toutes les informations relatives à ces mêmes coordonnées spatiales. En d'autres termes, les astrophysiciens font comme s'il n'y avait tout simplement aucune information disponible à cet endroit. Ils obtiennent ainsi une carte dans laquelle le bruit est réduit et dans laquelle la sensibilité n'est pas uniforme : la carte comporte à la fois des sources de rayonnement émettant très fortement et d'autres émettant très faiblement.

Après avoir mené à bien ces procédures de calibration et de traitement des données, pourquoi les scientifiques poursuivent-ils leur activité consistant à défendre la thèse de la fiabilité des données ? Ils ont largement détaillé les conditions de leur collecte et les voies qui l'ont rendue possible. N'est-ce pas suffisant pour convaincre les lecteurs de l'article ?

La thèse (les points sur les cartes correspondent à des informations fiables) est soutenue par la description de l'instrumentation, de l'acquisition et de la réduction des données. Mais ceci n'est pas suffisant. La garantie n'est pas assez solide : elle consiste ici en l'affirmation que l'instrumentation et le traitement des données sont fiables. Mais seule la qualité des données peut certifier ce point. On est confronté ici à un cas typique de régression de l'expérimentateur (l'expression étant de Harry Collins³²) : les données sont correctes si l'instrumentation et le traitement des données sont fiables, mais pour certifier que l'instrumentation et le traitement des données sont fiables, il faut s'appuyer sur la qualité des données.

Les auteurs de l'article s'attendent à ce que leurs résultats soient contestés. C'est pourquoi l'argumentation doit se prolonger, en

32 Collins H. M., *op. cit.*, p. 84.

l'occurrence par quatre arguments contribuant à l'établissement d'un faisceau d'éléments de preuve robuste.

2.1.2. Deuxième argument en faveur de la fiabilité des données

Pour une même région de la Voie Lactée, les astrophysiciens comparent leurs données à celles qui ont été obtenues au moyen d'un radiotélescope doté d'une résolution dix fois meilleure, le télescope du Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO). Les données sont concordantes.

2.1.3. Troisième argument en faveur de la fiabilité des données

Les astrophysiciens comparent les données qu'ils ont obtenues pour des régions célestes bien connues telles qu'Orion, Centaurus, etc. avec les données relatives aux mêmes régions obtenues par d'autres équipes d'astrophysiciens utilisant soit des radiotélescopes, soit des télescopes optiques, à rayons X, à rayons gamma. Les données se révèlent encore une fois concordantes.

2.1.4. Quatrième argument en faveur de la fiabilité des données

Les astrophysiciens comparent leurs données portant sur le centre de la galaxie avec celles obtenues au moyen d'un télescope optique. Le monoxyde de carbone est un gaz présent dans les nuages de poussière interstellaire. D'autres études ont montré que la poussière interstellaire bloque la lumière émise par les étoiles dans le domaine du spectre électromagnétique correspondant à la lumière visible. Si les astrophysiciens prennent une image du centre de la Voie Lactée réalisée en ondes optiques (c'est-à-dire dans le domaine du visible), ils peuvent observer les zones obscurcies correspondant aux nuages de poussière partiellement composés de monoxyde de carbone. Après examen, ces nuages de poussière observés dans le domaine du visible ont bien une forme similaire à ceux observés dans le domaine radio.

2.2. La thèse de la prise en compte de l'intégralité des données significatives

Les astrophysiciens souhaitent présenter avec leurs cartes une étude complète de la présence de monoxyde de carbone dans la galaxie – et par conséquent ils escomptent n'omettre qu'une infime partie de ce gaz tel qu'il est réparti dans l'espace correspondant à la Voie Lactée. Pour soutenir cette thèse, l'argument consiste à faire appel à d'autres études de la galaxie : la première est une étude radio-astronomique, portant sur la présence de HI (iodure d'hydrogène) dans la galaxie ; la seconde est une étude recourant au télescope IRAS (télescope dans le domaine de l'infrarouge qui permet également d'étudier les nuages de poussière interstellaire). Les astrophysiciens établissent une comparaison des données de ces études avec les leurs. Leur conclusion est que leurs cartes sont bien complètes.

Si nous examinons les cinq arguments contenus dans l'article, les cinq relèvent clairement de la constitution d'un faisceau d'éléments de preuve robuste. Les quatre derniers arguments consistent à confronter les résultats obtenus par les astrophysiciens auteurs de l'article avec des résultats produits par d'autres chercheurs avec d'autres instruments dont le fonctionnement repose sur des principes physiques différents. D'ores et déjà, et avant d'y revenir dans la conclusion, nous proposons d'appeler cette procédure « interinstrumentalité »³³, néologisme forgé afin de mettre en relief le fait que les accords qui clôturent les discussions quant à la fiabilité des données ne sont pas réductibles à des accords entre des esprits, c'est-à-dire à l'intersubjectivité.

3. Le rôle des images dans l'argumentation

Après cette première analyse consistant en un relevé des arguments contenus dans l'article, nous allons nous concentrer brièvement sur le détail de l'argumentation. Lorsque nous lisons l'article, que constatons-nous ? Il est constitué d'éléments textuels et d'images (en l'occurrence dix pages et vingt figures).

33 Allamel-Raffin C., De l'intersubjectivité à l'interinstrumentalité, *Philosophia Scientiae*, 9/1, 2005, p. 3-30.

3.1. Définition de l'image scientifique

Les philosophes, tout particulièrement, ont sous-estimé la place des images dans les activités et dans les résultats scientifiques, victimes de ce que William Wimsatt a appelé leur «ethnocentrisme langagier»³⁴. Le rôle et la valeur épistémique des images dans les écrits scientifiques doivent être reconsidérés, en mettant l'accent notamment sur leur fonction argumentative. Sur la base d'une telle réévaluation, il devient manifestement possible d'affirmer qu'elles «jouent un rôle central de structuration et d'organisation de l'énoncé dont elles présentent le noyau dur»³⁵. Encore faut-il préciser au préalable une définition de l'image.

Par image, nous entendons toute représentation visuelle bidimensionnelle réalisée sur un support matériel (écran ou papier). Est donc image tout ce qui n'est pas strictement textuel et nous incluons les graphes, les courbes et les histogrammes dans l'ensemble ainsi délimité.

3.2. La fonction argumentative des images scientifiques

Une image peut-elle constituer un argument? La réponse est négative si nous prenons seulement en compte son contenu informationnel et sa structure interne. Pour assumer une fonction argumentative, une image a besoin d'un support textuel. Le texte actualise certaines virtualités de prédication contenues dans l'image. Le scientifique, qui argumente, établit des contraintes de lecture de l'image, qui dirigent l'interprétation finale réalisée par le lecteur. Si les images structurent l'argumentation d'un article scientifique, le texte est complémentaire en deux sens :

- il informe sur toutes les procédures utilisées pour produire l'image (instruments, acquisition et traitement des données) – c'est sa fonction de relais.

34 Wimsatt W. C. Taming the Dimensions – Visualizations in Science, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 1990, p. 111-135

35 Jacobi D., La visualisation des concepts dans la vulgarisation scientifique, *Culture technique*, 14, 1985, p. 152-163

- le texte fixe la signification que l'on peut conférer à l'image en excluant toutes les autres possibilités – on parlera dans ce cas de sa fonction d'ancrage³⁶.

Nous pouvons maintenant revenir à l'étude de l'article d'astrophysique et centrer notre attention sur le rôle précis des images dans l'argumentation.

4. Le rôle des images dans l'article

4.1. La thèse de la fiabilité des données

Premier argument: la description de l'instrumentation et du traitement des données en vue de justifier leur fiabilité

L'article ne comporte pas d'images dans cette section, à l'exception d'une seule, qui indique la position dans l'espace céleste des 37 études. La fonction de cette image est purement informative. Il n'y a pas d'images en lien avec l'instrumentation. Si les télescopes avaient présenté quelque caractéristique particulière, les astrophysiciens auraient probablement produit une photographie ou un schéma de l'appareillage. Mais les télescopes utilisés sont très communs en radioastronomie. Il en va de même avec le traitement des données. Par conséquent, le seul point problématique en l'occurrence est la procédure de traitement du bruit et c'est à elle que les scientifiques ont consacré une section entière de l'article.

4.2. Deuxième argument: la comparaison des données du FCRAO avec les données du CfA

Comme nous l'avons dit, la thèse générale à défendre ici est la thèse de la fiabilité des données relatives aux nuages de poussière interstellaire. Cependant, à chaque fois que les scientifiques ajoutent un élément de preuve supplémentaire au faisceau, cette thèse générale donne lieu à la constitution d'une thèse plus spécifique. Ici, la comparaison entre les données obtenues au moyen du télescope du FCRAO et celui du CfA vise à montrer que la procédure de réduction du bruit réalisée par les chercheurs du CfA n'a pas distordu l'information provenant des

36 Ces deux fonctions ont été définies par Roland Barthes (Rhétorique de l'image, *Communications*, 4, p. 40-51).

sources célestes. Mais les chercheurs doivent faire face à un problème : comment comparer l'immense quantité de données acquises avec les deux télescopes ? Le défi consiste à trouver un mode de comparaison approprié. En vue de convaincre leurs lecteurs, les scientifiques décident d'associer trois images (fournissant une information relative à deux dimensions spatiales et à la vitesse radiale).

Fig. 2 Comparaison entre les données FCRAO et CfA T. Dame -CfA

Fig. 2(a) C'est la carte du monoxyde de carbone d'une zone de la Voie Lactée déterminée, réalisée par les chercheurs du FCRAO, avec une résolution dix fois meilleure que celle du CfA.

Fig. 2(b) la carte du monoxyde de carbone de la même zone céleste, réalisée par les chercheurs du CfA.

Fig. 2(c) la carte du FCRAO lissée et ramenée à la résolution de la carte du CfA.

On constate que ce n'est pas une image isolée qui tient lieu d'argument, mais le recours conjoint à plusieurs images. En l'occurrence, trois images avec le texte associé (qui assume sa fonction de relais en décrivant la procédure de traitement de l'image 2a permettant d'aboutir à l'image 2c) constituent les données de l'argument au sens de Toulmin.

Thèse énoncée: la qualité des cartes radio réalisées dans le cadre de l'étude est très bonne.

Données permettant d'étayer cette thèse: une carte du second quadrant de la Voie Lactée réalisée avec le FCRAO (2a), la même zone céleste extraite de la présente étude (2b), la carte du second quadrant réalisée avec le FCRAO mais à la même résolution que celle produite avec le télescope du CfA (2c). Les deux cartes sont similaires.

Garantie: ces cartes ont été réalisées en recourant à des télescopes différents (CfA et FCRAO) dans des conditions normales d'utilisation. Les traitements informatiques qui leur ont été appliqués sont des traitements courants en radioastronomie.

Fondement: le télescope du CfA et celui du FCRAO sont des instruments reposant sur des théories bien connues et sont utilisés dans bon nombre d'autres études.

La figure 2 permet une comparaison entre les images dissemblables (a) et (b) et les images similaires (b) et (c). Les images sont juxtaposées afin d'être vues ensemble. C'est là un point sur lequel Edward Tufte a mis l'accent dans ses ouvrages consacrés aux modalités de production et de présentation des résultats scientifiques sous forme d'images³⁷. Chercher les différences et les similitudes entre deux ensembles de données requiert le type d'analyse visuelle comparative utilisé par les astrophysiciens auteurs de l'article que nous étudions. Dans le cas présent, l'argument consiste dans le fait qu'il existe des similitudes visuelles quand on compare les images (b) et (c). Utiliser des images apparaît en l'occurrence comme une condition de possibilité si l'on souhaite parvenir à :

- une meilleure visualisation d'une énorme quantité de données produites par les instruments
- une meilleure visualisation des similitudes et des différences.

37 Tufte E. R., *Envisioning Information*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press, 1990; *Visual Explanations. Images and Quantities, Evidence and Narrative*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press, 1997.

Comme l'a souligné Thomas Dame, l'astrophysicien auteur de l'article, interrogé à ce propos :

C'était là ma toute première question : est-ce qu'on a procédé correctement à l'analyse des données? (...) Donc, ici, vous avez la comparaison de la même zone céleste observée avec deux télescopes, des télescopes indépendants. Ce que je souhaitais montrer, c'était : tout ce qui figure sur la carte est réel. (...) Et alors, vous pouvez voir de manière stupéfiante, comment ces cartes se recouvrent. Chaque petit détail, c'est extraordinaire. Mieux que ce que j'espérais. Donc ceci était destiné principalement à convaincre les gens que nous avions fait les choses de manière correcte, parce qu'il y a là incontestablement deux analyses de données indépendantes. Quand vous regardez ces deux cartes, vous y croyez.

Comparer directement deux ensembles de données produites par des télescopes différents s'avère une tâche presque impossible si ces données sont présentées sous une forme numérique. Aucun être humain ne dispose d'une capacité cognitive lui permettant de conserver tous les items de la liste dans sa mémoire à court terme et de réaliser alors toutes les opérations de calcul indispensables pour en tirer les conclusions relatives à la localisation spatiale et à la vitesse des nuages de poussière interstellaire. Se contenter de prendre quelques points déterminés sur la carte ne conviendrait pas davantage : dans ce cas, pourrait-on objecter, pourquoi retenir tel point et pas l'un des points qui se trouvent juste à côté de lui ? Quel est le degré de fiabilité de chaque point pris isolément ? Il serait également inconcevable de convertir tout le contenu informationnel pertinent de la carte en un contenu propositionnel correspondant. Chaque carte contient en effet un nombre potentiellement infini de virtualités de prédication : il faut compter avec les caractéristiques de chaque point et avec les relations de chaque point à tous les autres. Cet aspect a été souligné par Philip Kitcher³⁸ :

Prenons l'exemple d'un contour de l'île de Manhattan, accompagné seulement d'un indicateur du nord géographique. (...) la carte est équivalente à un nombre véritablement considérable de propositions portant sur des relations spatiales (un nombre continûment infini) : une image ne vaut pas mille mots, mais plutôt une infinité stupéfiante de propositions. De plus, bien que la carte dise beaucoup de choses incorrectes, elle exprime en même temps une infinité de propositions vraies, puisqu'il existe une infinité de vérités du type, A est à Φ près, à Θ de B en partant du nord.

38 Kitcher P., *Science, vérité et démocratie*, Paris, Puf, 2010, p. 89-90.

Affirmer que les images sont *en principe* convertibles en une liste de données numériques ou en un contenu propositionnel ne doit pas faire perdre de vue qu'elles ne sont jamais *effectivement* converties de la sorte dans ce type d'article, en raison de nos aptitudes cognitives limitées. Quelle est la force de l'argument visuel? Si un lecteur de l'article est en désaccord avec le passage des données (ici, les similitudes entre les cartes (b) et (c)) à la thèse, il peut exiger une garantie. La garantie, en l'occurrence, réside dans le fait que les différentes cartes ont été réalisées au moyen de deux radiotélescopes différents dans des conditions normales d'utilisation. Pour l'une des cartes (mais pas pour l'autre), le traitement des données est courant. Si le lecteur n'est pas suffisamment convaincu par la garantie, il peut solliciter qu'on lui précise un fondement de celle-ci. En l'occurrence, celui-ci consiste dans le fait que les télescopes et les procédures de traitement des données dans le cas de la carte réalisée à partir du FCRAO reposent sur des théories physiques bien connues. Ils sont utilisés dans d'innombrables études sans soulever de problème particulier. Dans le cas des trois images, ce qui est argumenté, c'est que: «notre procédure de traitement des données pour la carte du monoxyde de carbone réalisée par le CfA – et tout particulièrement le traitement du bruit – n'a pas distordu l'information que vous trouvez sur la carte.»

Dans l'article, l'argument suivant porte à nouveau sur le fait de défendre la fiabilité des données. Par manque de place et pour ne pas lasser le lecteur, nous n'exposerons pas dans le détail ce qu'il en est de cet argument, le principe de l'argumentation restant identique. La stratégie adoptée est encore une fois un recours à l'interinstrumentalité (en recourant à des télescopes optiques, gamma, rayons x). Pour examiner plusieurs zones célestes, les astrophysiciens se livrent à une activité de comparaison des données.

4.3. Quatrième argument: la comparaison des données optiques avec les données du CfA

La thèse générale à défendre est à nouveau la thèse de la fiabilité des données obtenues par les auteurs de l'article concernant la présence de nuages de poussière interstellaire dans la Voie Lactée. La thèse spécifique est que l'on peut observer des nuages de poussière en ondes optiques. Ceux-ci sont similaires aux nuages de poussière en ondes radio.

Fig. 3 Comparaison entre les données optiques et les données radio. T. Dame- CfA

Sur la figure, on peut comparer :

Fig 3(a) une carte réalisée à partir de seize images optiques de la galaxie.

Fig 3(b) la carte est la même que celle de la figure 1(a), mais avec un zoom sur la zone centrale de la galaxie, présentée dans une gamme de gris.

Le zoom est justifié par le fait que c'est au centre de la galaxie que les émissions en ondes optiques se trouvent être à leur niveau le plus élevé. Le but étant, rappelons-le, de montrer que la lumière en ondes optiques est obscurcie par les nuages de poussière – d'où le choix de la meilleure zone pour donner à voir cela. Habituellement, en astrophysique, pour comparer deux images réalisées avec des longueurs d'onde différentes, les chercheurs superposent une image à l'autre en utilisant par exemple des contours. Ils ne procèdent pas ainsi dans le cas qui nous intéresse. Pourquoi? Utiliser des contours n'est pas un moyen satisfaisant de représenter ici les similitudes, qu'on ne visualiserait pas bien ainsi. Dans l'entretien que nous avons eu avec lui, Thomas Dame affirme sur ce point :

C'était vraiment un défi. C'est juste une masse de nuages sombres. J'ai essayé avec des contours blancs, puis avec des contours de couleur. Rien ne fonctionnait, parce que quoi que vous superposiez sur l'image en ondes radio, en raison de la très grande corrélation entre les données radio et les données optiques, vous obteniez une émission de CO exactement là où se trouvent les ondes optiques. J'ai alors préféré reproduire l'une en dessous de l'autre les deux images en plaçant une grille sur elles, pour faciliter l'activité de comparaison visuelle. Je n'ai pas trouvé d'autre moyen.

La grille se révèle ici très utile pour saisir à quel point les similitudes sont importantes entre les deux cartes. Pour accroître la corrélation entre les deux, les scientifiques utilisent une gamme de nuances de gris. L'association des deux cartes et du texte correspondant constitue l'argument. La thèse : « notre carte montre seulement les données fiables relatives aux entités et aux propriétés à visualiser – en l'occurrence les nuages de monoxyde de carbone » est étayée ici par les données constituées par la carte en ondes optiques de la zone centrale de la galaxie et la carte en ondes radio du CfA de la même zone. En les comparant, tout lecteur est incité à conclure que la carte radio est similaire à la carte optique. Et ainsi, les scientifiques ajoutent un élément à leur faisceau d'éléments de preuve.

4.4. La thèse de la complétude des données

Il s'agit ici de convaincre le lecteur que les deux grandes cartes dépliantes 1 (a) et 1 (b) sont complètes quant aux informations qu'elles contiennent : les scientifiques ont pour ambition de n'omettre qu'une infime partie du monoxyde de carbone contenu dans la Voie Lactée.

Ils ont donc recours à une autre étude de la galaxie, celle qui a été effectuée à l'aide d'un autre radiotélescope. Celui-ci a permis de détecter la présence de gaz atomique [Fig. 4(a)]. Ils utilisent également une étude produite avec le télescope dans le domaine de l'infrarouge IRAS, qui permet de détecter la présence des nuages de poussière [Fig. 4(b)]. Les nuages de poussière sont constitués de gaz atomiques et de gaz moléculaires. En soustrayant les données de la première carte (correspondant au gaz atomique, [Fig. 4(a)] à celles de la deuxième carte (correspondant à la poussière, [Fig. 4(b)]), les astrophysiciens estiment qu'ils vont obtenir une troisième carte qui constituera une carte prédictive des gaz moléculaires [Fig. 4(c)]. Or le monoxyde de carbone est le gaz moléculaire le plus présent dans la galaxie. Par conséquent, la carte ainsi obtenue est une carte prédictive de cette présence de monoxyde de carbone. Ils appuient leur raisonnement sur des publications rédigées par d'autres chercheurs. Pour bien mettre en valeur la forme des nuages de monoxyde de carbone, les auteurs de l'article étudié les ont représentés en blanc. Ces images fonctionnent comme une partie d'un argument, qui sera complètement développée avec la figure 5.

La soustraction de la figure 4 a donné lieu à une image [Fig. 4(c)] qui va être comparée dans un deuxième temps à une autre [Fig. 4(a)]

Fig. 4 Images réalisées avec un télescope dans le domaine de l'infrarouge.
T. Dame- CfA

Fig. 4(a) Carte de la présence de gaz atomique dans la Voie Lactée

Fig. 4(b) Carte de la présence des nuages de poussière dans la Voie Lactée

Fig. 4(c) Carte prédictive de la présence de monoxyde de carbone [obtenue par soustraction de 4(b) par 4(a)]

La figure 5 consiste en la comparaison des données observées à celles de la carte prédictive 4(c). L'image 5(a) correspond aux données observationnelles, l'image 5(b) est l'image prédictive (la même en fait que l'image 4(c)). L'image 5(c) est tirée de deux cartes précédentes et représente des profils selon la longitude des rayonnements émis par le

monoxyde de carbone. Elle permet de comparer beaucoup plus finement l'adéquation des données observationnelles aux données prédites.

La légende de ces images et le texte permettent de souligner la grande corrélation entre l'image prédictive et l'image réalisée par les auteurs de l'article. Il y a donc tout lieu de penser que puisque la prédiction semble être réalisée, l'image finale doit être relativement exhaustive.

Fig. 5 Comparaison entre les prédictions et les données observationnelles relatives au monoxyde de carbone. T. Dame- CfA

Fig. 5(a) Carte de la présence du monoxyde de carbone correspondant aux observations effectuées par les chercheurs.

Fig. 5(b) Carte prédictive de la présence de monoxyde de carbone dans notre galaxie [Cette carte est identique à la fig. 4 (c)].

Fig. 5(c) Courbes extraites de deux images précédentes permettant de visualiser précisément les écarts entre les données de la carte réelle et les données de la carte prédictive.

Les figures 4 et 5 fonctionnent comme un seul argument :

Thèse énoncée: notre étude du monoxyde de carbone est complète.

Données permettant d'étayer cette thèse: la fig. 5(a) correspondant à nos observations, l'image 5(b) correspondant à une carte permettant de prédire le rayonnement du monoxyde de carbone, l'image 5(c)

permettant de mieux visualiser la similarité entre les deux premières cartes.

Garantie: ces différentes images ont été réalisées grâce au recours à différents télescopes (celui du CfA et l'IRAS) dans des conditions normales d'utilisation. Les traitements informatiques qui leur ont été appliqués sont des traitements courants en radioastronomie et en astronomie infrarouge.

Fondement: les télescopes utilisés sont des instruments reposant sur des théories bien connues et sont utilisés dans bon nombre d'autres études.

Conclusion générale

L'étude d'un article d'astrophysique tel que «The Milky Way in molecular clouds: a new complete CO survey» autorise à affirmer que l'argumentation qu'il contient n'est en aucune façon réductible à un ensemble de procédés littéraires, contrairement à ce que prétendent les sociologues antidifférenciationnistes. Ces derniers manquent l'essentiel, à savoir que l'argumentation en question repose sur la constitution d'un faisceau d'éléments de preuve, faisceau qui doit être jugé suffisamment robuste afin d'entraîner l'assentiment des pairs. Ce que les chercheurs visent à produire en l'occurrence, c'est un câble peircien³⁹. Un câble doit sa robustesse au fait d'être constitué d'un grand nombre de fils (chaque argument correspondant à un fil). À la différence d'une chaîne qui vaut ce que vaut son maillon le plus faible, le câble résiste même si quelques fils en viennent à se briser.

Les opérations cognitives à l'œuvre dans la constitution du câble présupposent une multi-accessibilité de l'objet X étudié (entité ou propriété ou processus). Ces opérations ne caractérisent pas en propre les sciences de la nature. Dans la vie quotidienne également, un constat d'invariance doit pouvoir être établi quant à un X donné, soit: (1) au moyen d'une même modalité sensorielle d'un individu à des moments et/ou dans des lieux différents (2) au moyen d'une même modalité sensorielle de plusieurs individus (3) au moyen de plusieurs

39 Peirce C. S., *Collected Papers*, vol. 5, Cambridge, Cambridge University Press, 1868/1936, p. 141.

modalités sensorielles d'un ou de plusieurs individus⁴⁰. Dans le cadre d'une entreprise d'observation ou d'expérimentation scientifique, les modalités sensorielles ne figurent plus qu'au terme d'un processus qui inclut des techniques et des instruments sophistiqués. Les deux types d'opération que l'on peut distinguer sur la base de la définition de la multi-accessibilité qui précède sont celles que l'on trouve dans l'article d'astrophysique étudié: la *reproduction* (argument 2) et la *triangulation* (arguments 3, 4 et 5). Conformément à ce que nous avons énoncé dès les premières pages de notre contribution, quant aux pratiques scientifiques en la matière, la reproduction n'est pas, en l'occurrence, une reproduction à l'identique. La triangulation, quant à elle, consiste à utiliser de multiples voies d'accès et moyens afin de caractériser le X étudié. Celui-ci doit être détecté, dérivé ou mesuré de multiples manières. Les procédures de triangulation sont susceptibles d'inclure toutes sortes d'ingrédients: des instruments reposant sur des principes physiques différents quant à leur fonctionnement, en d'autres termes, une interinstrumentalité; des axiomatisations ou des modèles différents permettant de dériver un même résultat ou théorème; des échelles de mesure ou des tests ou des indices qui s'accordent pour déterminer différents traits de certaines entités⁴¹; des objets physiques différents plus ou moins sensibles à tel ou tel effet pour étudier ce dernier, etc. À un autre niveau, le physicien et philosophe des sciences Allan Franklin a souligné le fait que les chercheurs tendaient à croiser des stratégies expérimentales dont il fournit une liste dans ses ouvrages: l'élimination des sources d'erreur plausibles et l'élimination des possibles explications alternatives permettant d'expliquer un phénomène; les vérifications expérimentales et les phases de calibration durant lesquelles un instrument reproduit un phénomène déjà connu; la reproduction d'artefacts déjà connus; l'intervention durant laquelle l'expérimentateur manipule l'objet étudié; l'interinstrumentalité; le recours à une théorie indépendante et bien

40 Nozick R., *Invariances. The Structure of the Objective World*, Cambridge, Harvard University Press, 2001, p. 75-76.

41 Wimsatt W.C., Robustness, Reliability and Overdetermination, *Scientific Inquiry and the Social Sciences*, M. B. Bruwer & B. E. Collins, San Francisco, Jossey-Bast Publishers, 1981, p. 124-163.

corroborée par ailleurs ; le recours à des arguments statistiques ; l'analyse des données en aveugle⁴².

Pour que la triangulation ne se réduise pas à une forme de reproduction déguisée de l'observation ou de l'expérimentation initiale à propos d'un X donné, il faut que les moyens d'investigation employés présentent un certain degré d'indépendance théorique les uns par rapport aux autres. Les instruments mis à contribution pour obtenir les données dans le cas de l'étude ayant abouti à l'article d'astrophysique sont des radiotélescopes, un télescope optique, un télescope dans le domaine de l'infrarouge qui exploitent des propriétés différentes de la lumière. Cette exigence d'un degré d'indépendance théorique vaut non seulement pour l'astrophysique observationnelle, mais pour l'ensemble des disciplines des sciences de la nature. Ian Hacking a quant à lui illustré ce point il y a une quarantaine d'années en empruntant un exemple à la biologie⁴³ : on peut se livrer à une observation avec douze microscopes fonctionnant sur des principes physiques différents pour identifier les corps denses dans des plaquettes sanguines. Les mêmes structures apparaissent avec tous les types de microscopes. Il devient difficile d'affirmer, à moins de postuler une coïncidence hautement improbable, que ces structures ne sont que des artefacts. Ces douze microscopes utilisés recourent à des procédés qui exploitent des caractéristiques de la lumière sans rapport les uns avec les autres (interférence, polarisation, contraste de phase, transmission directe, fluorescence, etc.). L'indépendance des théories des instruments les uns par rapport aux autres est cruciale pour que l'on puisse conférer à une opération de triangulation un poids épistémique plus ou moins élevé.

Pour ne pas étendre démesurément les limites de cette conclusion, nous nous contenterons de quelques remarques supplémentaires :

- le faisceau robuste d'éléments de preuve dans l'article d'astrophysique étudié n'est pas constitué *exclusivement* au moyen de la procédure de triangulation (arguments 3 à 5), mais en combinant les ressources de cette dernière avec celles de la description du traitement des

42 Franklin A., *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

43 Hacking I., *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

données – et en particulier du traitement du bruit (argument 1) – et celles de la reproduction (argument 2).

- Au moyen de la triangulation, il est possible de briser la régression de l'expérimentateur définie par Harry Collins évoquée plus haut⁴⁴. Il n'y a pas circularité entre instruments ou techniques d'une part, et données obtenues par leur entremise d'autre part, puisque des moyens indépendants permettent d'aboutir à des résultats convergents et donc de briser la circularité. L'«objectivité convergente»⁴⁵ des données que parviennent à atteindre les astrophysiciens auteurs de l'article étudié repose sur un ensemble de procédures qui n'ont rien à voir avec les stratégies d'écriture visant à construire la facticité des énoncés, stratégies qui sont au cœur des analyses menées par les tenants de l'orientation littéraire, en matière d'analyse des écrits scientifiques. L'article donne de *bonnes raisons* de croire à la fiabilité et à la complétude des données recueillies par les chercheurs pendant de longues années. Une telle objectivité est affaire de degrés⁴⁶: en effet, on peut toujours envisager d'ajouter un ou plusieurs fils au câble, et un ou plusieurs fils du câble sont toujours susceptible de se rompre⁴⁷. Mais cela ne pose pas de problème majeur dans la mesure où une conception gradualiste de l'objectivité s'accommode parfaitement bien du fait d'être insérée dans une perspective générale faillibiliste.
- Si les procédures exposées dans l'article d'astrophysique autorisent à affirmer, contre le point de vue des antidifférenciationnistes, que l'objectivité en matière de sciences n'est pas une prétention vaine, en

44 Culp S., Objectivity in Experimental Inquiry: Breaking Data-Technique Circles, *Philosophy of Science*, 62, 1995, p. 430-450; Benoit Godin & Yves Gingras, *op. cit.*

45 Douglas H., The Irreducible Complexity of Objectivity, *Synthese* 138/3, 2004, p. 453-473.

46 Culp, *op. cit.*, p. 448.

47 Un certain nombre de problèmes pourraient être soulevés ici. En particulier, comment évaluer que le degré de robustesse d'une procédure de triangulation ou d'un faisceau d'éléments de preuve est suffisamment élevé? Qu'est-ce qui incite les chercheurs à considérer que leur étude est achevée? D'autre part, on peut imaginer avoir affaire à deux ensembles incompatibles de résultats convergents dans le cadre d'une procédure de triangulation ou deux faisceaux d'éléments de preuve également robustes en faveur d'une hypothèse ou d'une théorie donnée. Comment trancher dans de tels cas de figure?

revanche, le recours à l'ensemble de ces procédures – et en particulier à la triangulation – ne constitue pas selon nous un argument en faveur du réalisme scientifique, même si des auteurs tels que William C. Wimsatt et Ian Hacking⁴⁸, entre autres, ont considéré que c'était le cas. On peut se sentir sur ce point plus proche d'Alvin I. Goldman, lorsque celui-ci affirme que la triangulation peut parfaitement être intégrée dans le cadre d'une méthodologie cohérentiste – et celle-ci est parfaitement acceptable aux yeux d'un antiréaliste⁴⁹. Néanmoins, comme le suggère Goldman, le réaliste est plus à l'aise lorsqu'il s'agit d'expliquer pourquoi nous éprouvons le besoin de recourir à une telle procédure: ce besoin découle de la distinction que l'on peut établir entre les faits réels et la faillibilité de nos procédures de détection dont nous sommes bien conscients. L'antiréaliste doit se contenter pour sa part de considérer l'existence des démarches de type cohérentiste (et notamment celle qui est développée par les astrophysiciens auteurs de l'article étudié) comme un fait brut, qui n'appelle pas d'explication.

- En relation avec le point précédent, le travail des astrophysiciens repose pour une bonne part sur une collecte de données sous forme de traces résultant d'interactions multiples ayant lieu entre la source de l'information et le détecteur final. Ces traces sont des indices au sens que Charles Sanders Peirce a donné à ce terme: il existe une connexion causale entre des entités inobservables et les signes qui résultent de leur contact avec une surface ou un support matériel sous forme d'images ou d'enregistrement divers. Dans une réflexion sur l'objectivité de la démarche scientifique, un tel point ne saurait être passé sous silence. Mais les indices dont il s'agit en l'occurrence ne procurent pas aux chercheurs la tranquille assurance qu'autorise par exemple l'empreinte digitale quant au parcours causal qui a permis de la produire. En raison de la distance physique et de la distance nomologique très grande entre source de l'information

48 L'exemple des douze microscopes permettant d'obtenir des résultats convergents constitue un « argument de la coïncidence ». Hacking écrit ainsi: « Hormis le sceptique cartésien, personne n'est plus alors en droit de douter que la structure, loin d'être produite par les instruments, est un phénomène inhérent au spécimen » (*Op. cit.*, p. 204).

49 Goldman A.I., *Epistemology and Cognition*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1986, p. 150.

et détecteur final, l'astrophysicien doit se livrer à une entreprise « de critique du matériau empirique, jusqu'à ce qu'il soit parvenu à identifier, par delà l'univers fluent et peu fiable des signes, ce qui est significatif. » Il n'y a donc pas là matière à triompher pour le partisan du réalisme. « Face à cela, un antiréaliste a beau jeu de retourner en argument sceptique l'idée que les phénomènes ne sont que des signes dont la fiabilité est sujette à caution. »⁵⁰ Cela n'interdit pas de penser cependant avec Davis Baird⁵¹ que dans l'ensemble des matériaux de la recherche constitué par les idées, les choses et les inscriptions, les choses (sources, détecteurs, générateurs de données) sont dotées d'une moins grande plasticité que les idées et les inscriptions et opposent une résistance au chercheur qui voudrait les conformer à ses hypothèses. Mais là encore, l'antiréaliste dispose de ressources et notamment celles qui consiste à penser le rapport entre idées, choses et inscriptions sur le mode d'un ajustement réciproque.

- L'ensemble des résultats obtenus par les astrophysiciens ne tire pas sa robustesse du seul fait d'avoir donné lieu à la constitution d'un faisceau d'éléments de preuve. Il en doit une part au fait de s'intégrer dans le corps de connaissances (théories, produit des observations) déjà constitué au sein de la discipline concernée. En effet, il ne s'agit évidemment pas, pour les chercheurs ayant rédigé l'article, de constituer un objet de connaissance radicalement nouveau qui serait la Voie Lactée. Bien plutôt, ils s'agit d'une activité « d'enracinement génératif » (*generative entrenchment*) pour reprendre une expression de William C. Wimsatt⁵² : les données collectées, dont on a éprouvé la fiabilité au moyen des procédures d'analyse et de traitement des données, de reproduction et de triangulation, sont de mieux en mieux enracinées dans le corps de connaissance au fur et à mesure qu'elles apparaissent comme non problématiques dans des études supplémentaires (sauf révision rendue nécessaire par des données contradictoires).

50 Bitbol M., Critères d'engagement ontologique, *Publications électroniques de Philosophia Scientiae*, 1, <http://philosophiascientiae.free.fr.>, 1999.

51 Baird D., *Thing Knowledge*, Berkeley & Los Angeles, University of California Press, 2004.

52 Wimsatt W. C., *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*, Cambridge, Harvard University Press, 2007, p. 133.

- Enfin, on l'a vu, établir un faisceau d'éléments de preuve incluant des opérations de reproduction et de triangulation suppose une intense activité de comparaison⁵³. Une des difficultés majeures rencontrées par les astrophysiciens réside dès lors dans la nécessité de trouver le meilleur moyen de comparer leurs propres données avec celles produites à l'aide d'autres instruments, en raison de l'immense quantité de données en jeu. Cette activité de comparaison a pour conditions de possibilité d'une part le recours à des méthodes spécifiques de traitement des données, et d'autre part la mise en images. Dans l'article étudié, les arguments se présentent sous la forme d'une association entre plusieurs images dont le sens, les procédures et le contexte de production sont spécifiés par les éléments textuels (légende et corps du texte). Reconnaître les similitudes entre les images contribue à convaincre les scientifiques de la validité de leurs conclusions en donnant à voir que les résultats produits indépendamment sont convergents.

53 L'article que nous avons retenu est donc bien représentatif, en ce sens, de la manière d'établir des résultats dans la littérature scientifique de la fin du XX^e siècle. En effet, le moyen le plus couramment adopté pour ce faire est la comparaison. Pour les chercheurs contemporains, les objets comparés «sont d'ordinaire des ensembles de données: une telle entreprise inclut principalement des comparaisons entre des résultats déjà publiés et des résultats nouveaux, ou entre des résultats expérimentaux et des calculs théoriques, ou entre des résultats expérimentaux ou observationnels obtenus au moyen de différentes méthodes.» (Gross A. G., Harmon J. E. & Reidy M., *op. cit.*, p. 196, notre traduction). L'ensemble de ces procédures de comparaison est destiné à apporter des arguments en vue de contrer la « mise en accusation » de leurs propres données, à laquelle se livrent les scientifiques dans leurs publications selon Frederick Suppe (*op. cit.*, p. 381).