

LA SÉMIOLOGIE ET LES IMAGES EN ASTROPHYSIQUE ET EN PHYSIQUE DES SURFACES

par Catherine Allamel-Raffin

Institut de recherche interdisciplinaire sur les sciences et la technologie (IRIST-EA3424)/ Université de Strasbourg
7 rue de l'Université 67000 Strasbourg
catherine.allamelraffin@unistra.fr

Je me propose de montrer l'apport que constituent la sémiotique visuelle du Groupe μ et les travaux d'Edward Tufte en vue de parvenir à une meilleure compréhension des images scientifiques produites en astrophysique et en physique des surfaces. De telles images peuvent se voir attribuer un statut de signe, au sens peircien du terme. En effet, chacune d'entre elles est « un quelque chose qui représente à quelqu'un quelque chose sous quelque rapport (respect) ou à quelque titre (capacity). Il s'adresse à quelqu'un, c'est-à-dire, crée dans l'esprit de cette personne un signe équivalent, ou peut-être plus développé. » (C. S. Peirce, 1978: 2.228 ; p. 121). Mais affirmer cela, ce n'est pas encore saisir ce qui constitue la spécificité des images scientifiques par rapport à d'autres, par exemple les affiches publicitaires ou les panneaux de signalisation routière, ou encore les tableaux des grands peintres de la Renaissance. Du point de vue des scientifiques eux-mêmes, qui les réalisent dans leurs laboratoires, les images produites se présentent comme des signes résultant d'une interaction entre trois éléments. En physique des surfaces, ces éléments sont : l'objet (l'échantillon), la source de rayonnement (photons, électrons, etc.) et le dispositif « imageant » (qui a pour fonction, selon le type d'instrument, de numériser le signal). En astrophysique, l'image résulte de l'interaction entre les rayonnements électromagnétiques émis par un objet (source céleste), le collecteur de ces ondes (les télescopes) et les processus imageants (il s'agit souvent de CCD¹). Les images, ainsi obtenues au terme d'un très long parcours semé d'embûches, sont assimilables à des « cartes d'interactions » physiques au sens donné à cette expression par Ian Hacking (1989, p. 310). A ce titre, elles permettent, entre autres, de fournir des informations sur des aspects du réel inaccessibles au moyen de nos sens. La sémiotique du Groupe μ et les travaux de Tufte fournissent les moyens, au plan analytique, de mettre en exergue les stratégies utilisées par les physiciens au quotidien pour communiquer des informations de la manière la plus efficace. Les exemples développés dans le texte qui suit sont issus d'études ethnographiques que j'ai conduites dans des laboratoires de recherche contemporains.

La lecture du titre du présent article pourrait laisser le lecteur perplexe : pourquoi une réflexion portant sur la sémiotique² et les images scientifiques en physique des surfaces et en astrophysique trouverait-elle une place dans une démarche visant à clarifier les relations entre sémiologie et cartographie ? De fait, il existe un point commun entre ces domaines de recherche et celui-ci est constitué par la notion de « carte ». En effet, comme l'a souligné, il y a déjà quelques décennies, le philosophe des sciences canadien Ian Hacking, la plupart des images scientifiques produites au moyen d'instruments classiques (microscopes ou télescopes) sont en réalité des « cartes d'interactions » physiques (1989, p. 310). Encore faudrait-il s'entendre sur la définition de ce que l'on entend par « carte ». Dans un ouvrage récemment

paru de Jerry Brotton, intitulé *Great Maps* (2015), nous trouvons les propos suivants : « Le terme de “carte” a d'abord été utilisé en anglais au XVI^e siècle et, en dépit de plus de 300 interprétations concurrentes de sa définition, la plupart des spécialistes s'accordent dans leur ensemble sur le fait que la carte peut être définie comme ‘une représentation graphique qui fournit une compréhension d'ordre spatial d'entités, de concepts ou d'événements ayant cours au sein de notre monde’³. Bien que cette définition puisse sembler vague, elle permet de ne pas considérer les cartes uniquement comme de simples instruments scientifiques. Cette définition recouvre également la grande multiplicité de variations dans l'interprétation qui, du coup, autorise à faire coexister sous le titre de “cartes” celles qui relèvent de

1 *Charge Coupled Device* ou dispositif à transfert de charge.

2 J'emploierai ici indifféremment les mots « sémiologie » et « sémiotique » afin de désigner la « science des signes » (que ceux-ci soient de nature linguistique, visuelle, gestuelle, etc.). Par conséquent, je n'entrerai pas dans les débats nombreux qui consistent à délimiter une frontière plus ou moins nette entre sémiologie et sémiotique, car cela ne me semble pas indispensable en vue de mener à bien la réflexion qui figure dans les pages suivantes.

l'ordre du céleste, de l'astrologique, du topographique, du théologique, du spirituel, du statistique, du politique, de l'utile en matière de navigation, de l'imaginaire et de l'artistique. Une définition aussi large permet également d'embrasser la grande diversité des traditions culturelles, et de comprendre ce qui a été cartographié, comment et pourquoi cela l'a été et l'est encore actuellement au sein de ces différentes traditions culturelles. » (Brotton, 2015, p. 7, traduction personnelle).

Si la définition proposée par Brotton – à savoir : 'une carte est une représentation graphique qui propose une compréhension d'ordre spatial d'entités, de concepts ou d'événements ayant cours au sein de notre monde' (*Ibid.*, p. 7) –, recouvre parfaitement les pratiques cartographiques en géographie⁴ et ce, quelle que soit l'époque considérée, nous allons voir que cette définition permet également de ranger sous cette acception les images réalisées au moyen de microscopes et de télescopes. En effet, la finalité de ces images est de représenter spatialement des interactions physiques de divers ordres (par exemple, magnétiques, électromagnétiques, chimiques, etc.).

Au-delà des points communs figurant dans cette définition de Brotton, la différence de taille cependant que l'on perçoit d'emblée entre les cartes géographiques et les images produites en physique des surfaces et en astrophysique, est le poids épistémologique de l'indiciarité au sens de Charles Sanders Peirce. Pour rappel, l'indice au sens de Peirce est défini ainsi : « Un Indice est un signe qui fait référence à l'Objet qu'il dénote en vertu du fait qu'il est réellement affecté par cet Objet. (...) Dans la mesure où l'Indice est affecté par l'Objet, il a nécessairement certaines qualités en commun avec cet Objet, et c'est sous ce rapport qu'il réfère à l'Objet. Il implique, par conséquent, une certaine relation iconique

à l'Objet, mais une icône d'un genre particulier ; et ce n'est pas la simple ressemblance à son Objet, même sous ces rapports, qui en font un signe mais les modifications réelles qu'il subit de la part de l'Objet. » (Peirce, 1960, 2.248, traduction Maryvonne Longeart). Le caractère d'images indiciaires des images produites en physique des surfaces et en astrophysique est irréductible et les distingue de la plupart des cartes géographiques. Cela n'est certes pas vrai pour toutes ces dernières à l'heure actuelle : il est possible par exemple de réaliser des cartes d'une zone géographique déterminée, en utilisant les données obtenues par un satellite géostationnaire. Notons au passage que la numérisation n'aboutit pas à la suppression de l'indiciarité : en fin de compte, il s'agit de traduire à l'aide d'un code informatique un signal photonique (je pense par exemple aux cartes que l'on trouve sur *Google Earth*). Ainsi, les images numériques d'une zone géographique qui servent de base à l'élaboration de cartes conservent toujours – comme celles que l'on réalise en physique des surfaces et en astrophysique – un caractère indiciaire. En effet, lorsqu'un accident géologique, par exemple, modifie une partie de la zone géographique considérée, la carte obtenue en définitive à l'aide de moyens numériques subira également des modifications. En physique des surfaces et en astrophysique, les images de microscopie ou de télescopie représentent des interactions physiques qui sont codées informatiquement. Dans ces disciplines, l'indiciarité joue et a toujours joué un rôle essentiel d'un point de vue épistémologique, car elle constitue en quelque sorte la garantie que les éléments du monde invisible sur lesquels travaillent les physiciens des surfaces ou les astrophysiciens, ne se réduisent pas à des chimères, même si les résultats obtenus demeurent faillibles et leur interprétation révisable. Etablir et garantir la fiabilité d'une information de type indiciaire est primordial, quand on travaille dans un domaine

3 Il existe dans le domaine de la cartographie des définitions beaucoup plus précises de ce que peut être une carte, les précisions apportées étant utiles pour des cartographes de métier. Par exemple, le Comité français de cartographie définit la carte de la manière suivante « représentation géométrique conventionnelle, généralement plane, en positions relatives, de phénomènes concrets ou abstraits, localisables dans l'espace ; c'est aussi un document portant cette représentation ou une partie de cette représentation sous forme d'une figure manuscrite, imprimée ou réalisée par tout autre moyen. » (Comité français de cartographie, 1990). L'Association cartographique internationale propose la définition suivante : « une image codifiée de la réalité géographique, représentant une sélection d'objets ou de caractéristiques, relevant de l'effort créateur de son auteur par les choix opérés et destinée à être utilisée lorsque les relations spatiales ont une pertinence essentielle » (citée par Board C., 1991). La définition proposée par Laurent Jégou dans le cadre de sa thèse est également fort intéressante, car elle met l'accent sur la dimension sémiotique des cartes géographiques : « une carte est une représentation plane d'une sélection de phénomènes localisés dans l'espace et de leurs relations. Cette représentation forme une image codifiée selon un système sémiotique complexe. Elle est le résultat d'un effort créateur par un auteur motivé dans son acte, qui réalise plusieurs opérations de transformation. » (Jégou, 2013, p. 20). Deux caractéristiques que l'on retrouve dans ces définitions : la spatialité et l'encodage. En ce sens, on peut dire les cartes en géographie (ou dans d'autres domaines), sont bien des représentations graphiques dans lesquelles on spatialise des données grâce à des codes.

4 Les cartes produites en géographie sont de multiples natures : on peut distinguer les cartes topographiques, les cartes thématiques, les cartes d'inventaire, les cartes produites par télédétection ou par photographie aérienne, etc. À première vue, les deux derniers types de carte seraient plus proches de celles que je propose d'étudier en physique des surfaces et en astrophysique, puisque produites avec des instruments scientifiques *via* des dispositifs techniques imageants. Du coup, se pose la question des outils sémiotiques pertinents pour tel ou tel type de carte. Cependant, comme nous allons le voir, je ne vais pas limiter ma réflexion aux cartes produites par télédétection ou par photographie aérienne, par exemple, mais à l'ensemble des cartes produites en géographie car les cadres d'analyse sémiotique que je vais mobiliser sont applicables à tout type de carte et permettent de révéler ainsi points communs et différences.

portant sur des aspects du réel difficilement accessibles, comme nous le verrons plus loin.

Pour en revenir à la définition de Brotton : « une carte est une représentation graphique ». Mais qu'est-ce qu'une représentation graphique ? On peut évoquer sur ce point les travaux de Jacques Bertin. Même si ceux-ci avaient pour base de départ une réflexion sur les cartes, les diagrammes et les réseaux en géographie⁵, ils se révèlent très éclairants pour d'autres domaines de recherche scientifique, tels que la physique des surfaces ou l'astrophysique.

Selon Bertin, la carte, en tant que « REPRÉSENTATION GRAPHIQUE, est la transcription dans le SYSTÈME GRAPHIQUE DE SIGNES, d'une pensée, d'une 'information' connue par l'intermédiaire d'un système de signes quelconque » (1967, p. 8). D'après lui encore, la représentation graphique a trois fonctions : enregistrer l'information, la communiquer, la traiter (*Ibid.*, p. 14). Tout le projet de l'ouvrage séminal de Bertin, *Sémiologie du système graphique*, même s'il date quelque peu, a consisté à penser en termes d'efficacité maximale la réalisation de ces fonctions. Il définit ainsi des règles de construction et de lisibilité (entendues comme « les observations qui permettent de mettre en œuvre les plus grands écarts sensibles de la vision », *Ibid.*, p. 14). Se désintéressant de la question de la pertinence des informations à coder, Bertin étudie les procédés de codage pour les rendre les plus efficaces possible⁶. L'efficacité, telle qu'il l'entend, est la capacité à « apporter une réponse correcte et complète à une question donnée, et toutes choses égales, une construction requiert un temps d'observation plus court qu'une autre construction, on dira qu'elle est plus efficace pour cette question. » (*Ibid.*, p. 139).

Ce que dit Bertin, à propos des représentations graphiques en géographie, se révèle également valable en physique des surfaces et en astrophysique. De manière analogue, il s'agit, *via* les images produites dans ces domaines, d'enregistrer des informations (d'ordre physique), de communiquer ces informations visuelles sans distorsion, et de les traiter (les traitements d'images sont extrêmement nombreux en physique des surfaces

et en astrophysique). Quant à l'efficacité, il en va de même qu'en géographie : les images en physique des surfaces et en astrophysique ne sont pas de « simples illustrations », mais constituent souvent le cœur même de l'argumentation scientifique, et il est donc primordial que la manière de présenter les informations soit correcte, complète et lisible.

Dans les propos de Bertin autour de la notion d'efficacité, mais également dans ceux de Brotton cité plus haut, nous trouvons l'idée qu'une carte est toujours réalisée dans un but précis (répondre à des questions d'ordre topographique, de l'ordre de l'utilité en matière de navigation, d'ordre astrologique, etc.). Du coup, pour évaluer le degré d'efficacité d'une carte donnée, il faut nécessairement prendre en compte la finalité visée. Ce n'est qu'en se posant la question : « pourquoi cette carte a-t-elle été réalisée ? », que nous pouvons décider si oui ou non la finalité a été atteinte.

Aborder l'objet d'étude, en l'occurrence les images scientifiques, sous un tel angle, correspond à ce que j'ai appelé, dans plusieurs articles déjà publiés, une « perspective téléologique » (Allamel-Raffin, 2009, 2016). En effet, je défends l'idée qu'une réflexion épistémologique portant sur les images scientifiques (au sens large du terme, en incluant les cartes) doit adopter conjointement deux perspectives différentes : 1/ une perspective génétique (comment l'image est-elle produite et avec quelles contraintes imposées par l'objet d'étude et le dispositif imageant ?) ; 2/ une perspective téléologique (dans quel but l'image est-elle produite et quelle est la meilleure forme de représentation pour atteindre un tel but ?). L'adoption de ces deux perspectives permet de comprendre comment les scientifiques s'y prennent pour conférer une valeur épistémique déterminée à certaines de leurs images ; comment, en fonction des finalités qu'ils visent, ils parviennent à garantir que les informations contenues dans une image donnée ne sont pas distordues tout en atteignant les buts qu'ils se sont fixés. Une telle démarche exige, de la part de l'analyste, l'identification des contraintes représentationnelles à l'œuvre dans la démarche des producteurs d'images : d'une part, les contraintes liées à la détectabilité, d'autre part, les

5 Il semble évident qu'une analyse de type bertinienne rend bien compte des cartes d'inventaire, par exemple. Ce type d'analyse semble à première vue moins pertinent pour les cartes produites grâce à des dispositifs imageants. Cela me paraît discutable, car tous les dispositifs imageants intégrés dans les instruments scientifiques utilisent des logiciels qui permettent la mise en images de données. Dans la création même de ces logiciels sont inclus des choix visant à améliorer la visualisation. Du coup, il serait vraiment intéressant d'ouvrir ces boîtes noires que constituent ces logiciels de visualisation et de les aborder dans une perspective bertinienne. Ces choix d'ailleurs, ne donnent pas lieu à un consensus chez les scientifiques : en physique des surfaces, j'ai entendu de nombreuses plaintes concernant les choix graphiques qui ont été faits au moment de la création de ces logiciels.

6 Comme nous le verrons plus loin, une démarche analogue est entreprise par Edward R. Tufte dans ses ouvrages (1983, 1990, 1997, 2006). D'ailleurs, Tufte, dès son premier ouvrage (1983) reconnaît sa dette envers l'œuvre de Bertin. Tufte ne se limite pas à un domaine scientifique particulier. Il explore les différents modes de codage sous forme visuelle et leur efficacité cognitive dans divers domaines scientifiques (géographie, astronomie, mathématiques, chirurgie, etc.), mais aussi dans la sphère médiatique.

contraintes liées à la lisibilité. Ce sont ces dernières qui correspondent au point de vue téléologique : comment aboutir à la meilleure visualisation possible pour des modalités sensorielles et pour un entendement humain en fonction des finalités scientifiques visées ? Il va de soi que les contraintes liées à la détectabilité sont très variées et que celles qui sont à l'œuvre dans la production de cartes en géographie ne recourent évidemment pas entièrement celles que l'on trouve dans la production d'images en physique des surfaces et en astrophysique. Je l'ai déjà souligné plus haut, en physique, c'est au niveau des contraintes liées à la détectabilité que se renouvelle quotidiennement, au sein des laboratoires, le questionnement relatif à l'indiciarité (ce qui est représenté sur l'image renvoie-t-il ou non à des aspects déterminés du réel ?). Cela dit, les contraintes relatives à la lisibilité, qui sont quant à elles très présentes lorsqu'on travaille sur les cartes de géographie (en attestent par exemple les travaux de Bertin), sont également au cœur de l'activité de réalisation d'images en physique des surfaces et en astrophysique.

Relativement aux deux perspectives – génétique et téléologique – des questions se posent, du point de vue de l'analyse sémiotique, lorsqu'on choisit d'adopter à la fois l'une et l'autre à propos d'un objet d'étude tel que les images scientifiques. En premier lieu, il faut trouver un cadre théorique qui se révèle compatible avec les deux perspectives. Les travaux de Bertin relatifs à la sémiologie graphique ou ceux, par exemple d'Éric Blin et Jean-Paul Bord (1984), situent l'analyse exclusivement au niveau d'une perspective téléologique. Cela s'est révélé probablement très fécond pour la réflexion relative à l'élaboration des cartes géographiques, mais quand on s'interroge, comme moi, sur la signification des images qui posent de réels problèmes dès leur phase de production (des questions quant à la possibilité même d'une détectabilité fiable), il faut sans doute trouver d'autres cadres sémiotiques, afin de comprendre comment émerge le sens conféré à ces images en prenant en compte simultanément la perspective génétique et la perspective téléologique.

Quels sont les concepts opératoires dont dispose alors la sémioticienne qui prend pour objet d'étude les images scientifiques ? Qu'en est-il, en particulier, lorsqu'il s'agit de comprendre la nature et les fonctions

de ces images dans le cadre des processus de recherche qui ont cours au sein des laboratoires contemporains ? Je me propose ici d'évaluer l'utilité et la pertinence des ressources offertes par deux cadres théoriques distincts : les travaux du Groupe μ et ceux d'Edward Tufte. Ces sémiotiques visuelles mettent l'accent sur la matérialité des images scientifiques. Plus précisément, l'approche microsémiotique du Groupe μ rend possible un travail systématique portant sur la dimension proprement matérielle de l'image en permettant de comprendre le processus de lecture d'image⁷, parfois très laborieux en sciences des surfaces et en astrophysique. La sémiotique du Groupe μ permet également de décrire l'ensemble des traitements d'images, procédures qui sont très courantes dans la pratique quotidienne des chercheurs dans les domaines considérés. Par rapport à ces possibilités offertes par le Groupe μ , les travaux d'Edward Tufte constituent un outil permettant de mieux comprendre encore, dans le détail, quels choix sont effectués afin d'accroître l'efficacité des stratégies utilisées par les physiciens au quotidien, lorsqu'il s'agit de communiquer des informations de manière visuelle⁸. Combiner des concepts sémiotiques issus de cadres théoriques distincts permet une plus grande précision de l'analyse. Ma visée est résolument pragmatique : comprendre ces signes si particuliers que sont les images scientifiques, ainsi que les pratiques qui leur sont associées. Pour mener à bien cette étude, je vais dans un premier temps définir ce qu'il faut entendre par « image scientifique » et préciser quels types d'images sont produits dans des laboratoires de physique des surfaces et d'astrophysique. Puis je montrerai en quoi les travaux du Groupe μ et d'Edward R. Tufte peuvent être utiles afin de comprendre la nature et les fonctions des images dans la recherche en physique des surfaces et en astrophysique.

Qu'est-ce qu'une image scientifique ?

Débutons brièvement par une définition de ce qu'est une image. Cet exercice, qui peut paraître trivial, n'est pas tant que cela. En effet, et pour ne prendre que les sciences de la nature, j'ai pu constater que d'une part au sein d'une même discipline, parfois d'un même laboratoire, la définition de ce qu'est une image varie très fortement. Par exemple, certains chercheurs vont

7 Dans une recension des ouvrages de Bertin et de Tufte, Mark Monmonier (1985) souligne que Bertin s'est plutôt intéressé à la question de l'efficacité des procédures d'élaboration de cartes, de diagrammes et de réseaux en vue de transmettre de l'information à un lecteur, et n'a accordé qu'une attention limitée aux processus de lecture de ces types de représentations graphiques. Le Groupe μ , à travers sa microsémiotique s'intéresse, quant à lui, de très près à ces processus de lecture.

8 Les travaux de Tufte entretiennent une certaine proximité avec ceux de Bertin. Si j'ai privilégié en fin de compte ceux de Tufte, ce n'est pas en raison de leur caractère plus récent chronologiquement. Les propositions de Bertin me semblent, même à l'âge du numérique, parfaitement pertinentes. C'est essentiellement parce que Tufte ne concentre pas l'ensemble de ses études sur les productions graphiques réalisées au sein d'une seule science – la diversité se révélant intéressante pour quelqu'un qui, comme moi, souhaite réaliser des études comparatives entre plusieurs disciplines scientifiques, quant à la production et la réception des images.

considérer comme « image » tout ce qui est non textuel dans une publication scientifique. À ce titre, une équation ou un tableau seront considérés comme des images. D'autres chercheurs, parfois issus du même laboratoire, ne vont qualifier d'« image » que les produits visuels obtenus avec des instruments tels que les microscopes ou les télescopes⁹. D'autre part, au sein même des sciences humaines susceptibles de s'intéresser aux images, comme la sémiotique ou la philosophie, l'accord sur une définition commune est loin d'être atteint. Certains sémioticiens considèrent, par exemple, les diagrammes mathématiques comme des images, et d'autres, non. C'est pourquoi je vais ici proposer ma propre définition, en m'inspirant partiellement des travaux d'Umberto Eco.

L'image est « une représentation visuelle bidimensionnelle analogique (...) ou symbolique » (Joly, 1994, p. 25). Par « représentation », j'entends un objet second, matériellement distinct de ce qu'il représente, sans quoi on pourrait dire par exemple que je suis une représentation de moi-même (Eco, 1999, p. 354).

Par « analogique », j'entends tout rapport de similarité entre la représentation et le représenté. Il peut s'agir :

- d'une relation d'isomorphisme (*Ibid.*, p. 355). La représentation a alors la même forme que le représenté, comme c'est le cas par exemple de la photographie d'un oiseau prise par un éthologue ;
- d'une relation d'homomorphisme. La représentation conserve dans ce cas certaines propriétés structurelles du représenté (*Ibid.*, p. 355). Les images en physique des surfaces et en astrophysique appartiennent à cette catégorie. En effet, on ne peut repérer, dans leur cas, une similarité entre la représentation et le représenté. D'une part, les objets étudiés sont à l'échelle atomique ou trop éloignés de nous dans l'univers. D'autre part, les rayonnements utilisés pour produire des représentations visuelles – par exemple les rayonnements infrarouges – se situent hors des limites de notre appareil sensoriel.

Par « symbolique », enfin, j'entends tout rapport conventionnel permettant d'établir un lien entre une représentation et ce qui est représenté.

Comment caractériser, à la lumière de ces définitions, l'image scientifique ? Celle-ci consiste en une représentation visuelle, analogique ou symbolique, dans laquelle est encodée une interprétation scientifique du monde. Cette dimension d'encodage est capitale car comme le souligne Pierre Clément : « Comprendre une image scientifique nécessite une connaissance préalable des codes scientifiques et iconiques qui lui donnent du sens, qui font émerger du signifié à partir de formes, qui sinon pourraient être interprétées à partir d'autres codes (familier, esthétique, psychanalytique). » (Clément, 1996, p. 89).

Les images scientifiques qui retiendront mon attention dans le cadre de la présente contribution sont toutes des images qui présentent une spécificité notable, par rapport à d'autres images : elles sont produites à l'ère de l'électronique. On peut voir là d'ailleurs la principale innovation du XX^e siècle (G. Simon, 1999, p. 493) : l'abandon de la vision naturelle, au profit de l'extension du champ de l'optique à l'ensemble des rayonnements électromagnétiques. De surcroît, ces images donnent lieu à un traitement informatique.

Notons au passage que les cartes géographiques se conforment pleinement à la définition de l'image scientifique qui précède : elles établissent une relation de similarité entre un représentant et un représenté qui peut être isomorphique et/ou homomorphique et/ou symbolique. À ce titre, les cartes constituent bien un sous-ensemble de l'ensemble des images scientifiques.

Quels types d'image trouve-t-on dans un laboratoire de physique des surfaces ou d'astrophysique ?

Sur la base d'observations que j'ai réalisées dans plusieurs laboratoires¹⁰, j'ai choisi de distinguer trois types d'images :

- *les images sources*¹¹. Elles correspondent aux premières images obtenues grâce à un instrument du type microscope, télescope, etc. Dans les deux domaines disciplinaires considérés, l'image source constitue le

9 Pour avoir plus de précisions sur la diversité des définitions de l'image proposée par les chercheurs en physique des surfaces et en astrophysique, voir Allamel-Raffin, 2004a, p. 87-94.

10 Du point de vue de la méthodologie, j'ai recouru aux techniques de recueil de données qui sont celles de l'ethnographie de laboratoire. Pour ce faire, j'ai séjourné plusieurs mois dans chaque institut de recherche sélectionné. J'ai effectué des observations participantes et réalisé des entretiens semi-directifs ayant pour objet central l'image scientifique. Le premier institut de recherche est le Centre d'astrophysique de Harvard (CfA) aux États-Unis qui effectue des recherches sur la nature et l'évolution de l'univers. La principale méthode d'investigation utilisée au CfA est l'étude de la lumière provenant des objets célestes. Le second institut est le Département surface-interface (DSI). Ce laboratoire fait partie de l'IPCMS (Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg, unité mixte CNRS-ULP. UMR 7504). On étudie les propriétés de la matière à l'échelle nanométrique, il s'agit en général de métaux. L'ensemble des entretiens et des observations sont consignés dans Allamel-Raffin, 2004a. Les études se sont poursuivies de 2000 à 2009. Voir sur ce point Allamel-Raffin, 2004a, 2004b, 2004c, 2005a, 2005b.

11 Pour ne pas alourdir la présentation des différents types d'images, je me limiterai ici à des exemples d'images réalisées en physique des surfaces.

résultat d'une interaction entre trois éléments. En physique des surfaces, ces éléments sont l'objet (un échantillon de matière), la source de rayonnement (photons, électrons, etc.) et le dispositif « imageant » (la plupart du temps, un ordinateur permettant de numériser les signaux captés). En astrophysique, l'image résulte de l'interaction entre des rayonnements électromagnétiques émis par l'objet (une source céleste), le collecteur de ces ondes (les télescopes) et le dispositif « imageant » (celui-ci est fréquemment constitué par une caméra CCD)¹².

- *les images retraitées*. Elles sont issues d'opérations de traitement menées sur les images sources et peuvent se présenter sous diverses formes, en l'occurrence des images filtrées, des courbes, des histogrammes, etc.

Les images sources visibles ici ont été réalisées avec un microscope à effet tunnel (STM). Elles représentent des dépôts d'alliage de cobalt et de palladium sur un substrat d'or. Les quatre images (a), (b), (c) et (d) correspondent à des compositions d'alliages à chaque fois différentes (par exemple en (a), l'alliage est composé à 20 % de cobalt et 80 % de palladium). La courbe figurant sous l'image correspond au relief observé le long de la ligne virtuelle tracée sur l'image (c) : cette courbe constitue l'image retraitée¹³.

- *Les images de synthèse*. Elles sont produites uniquement à l'aide de programmes informatiques. Il existe deux types d'images de synthèse, les images de modélisation et les images de simulation.

Les images produites dans les laboratoires de physique des surfaces et d'astrophysique peuvent être considérées comme des *signes* au sens de Charles Sanders Peirce : elles sont « quelque chose » (une représentation visuelle

analogique ou symbolique) mis à la place d'un « quelque chose d'autre » (un échantillon de matériaux, un objet céleste ou des formules mathématiques) pour « l'esprit » d'un scientifique¹⁴. Comme souligné plus haut, ces images peuvent être conçues comme étant des « cartes d'interactions » physiques au sens de Ian Hacking (1989, p. 310).

La conclusion que l'on peut tirer, au terme d'une analyse sémiotique peircienne que je ne détaillerai pas ici, c'est que les images produites ont des statuts épistémiques différents aux yeux des chercheurs. Les images sources sont les plus précieuses et sont conservées, même lorsqu'elles sont de médiocre qualité. C'est probablement parce qu'elles constituent les seules fenêtres partiellement ouvertes sur des aspects du réel à jamais inaccessibles sous la forme d'une perception directe au moyen de nos sens. En physique des surfaces et en astrophysique, les entités et les processus étudiés sont extrêmement difficiles à détecter et à enregistrer. De ce fait, la question qui se pose est celle de l'existence même ou de la « fidélité » à un référent à jamais inaccessible¹⁵.

Les ressources offertes par la sémiotique peircienne permettent de mettre à jour *l'évolution du nécessaire processus interprétatif* : une même image n'a pas le même sens et par conséquent, pas le même statut épistémique dans l'esprit des physiciens selon le moment de la recherche où elle se situe. Conçue comme une représentation potentiellement adéquate de l'entité ou de la propriété étudiée, elle acquiert une crédibilité qui s'accroît grâce au recours à différents procédés que le Groupe μ va nous aider à préciser.

12 Dans le cadre de la cartographie, il existe également des images sources, par exemple les cartes obtenues au moyen d'instruments embarqués sur des satellites. Ces cartes sont donc très proches des images sources réalisées en astrophysique : elles résultent de l'interaction entre des rayonnements électromagnétiques émis par l'objet (ici, un territoire donné), un collecteur de ces rayonnements et un dispositif imageant.

13 Au sens où je les définis ici, il existe également des images retraitées en géographie. Ce sont les cartes obtenues à partir des images sources dans lesquelles le géographe a sélectionné certaines données afin de produire une nouvelle carte. Celle-ci mettra en relief certaines informations dans la mesure où d'autres auront été délibérément supprimées. Ajoutons ici un point important : la carte géographique retraitée peut également comporter un ajout d'informations extérieures, à la différence de ce que l'on observe pour les images réalisées en physique des surfaces. Le retraitement en cartographie inclut donc des types d'opérations d'adjonction qui ne sont pas présents dans toutes les disciplines. Ici encore, on peut noter la proximité avec ce que l'on trouve en astrophysique : les chercheurs peuvent par exemple superposer certaines informations issues de plusieurs images sur une image unique.

14 Dans des travaux que je ne détaillerai pas dans le présent article, je me suis beaucoup servie de la sémiotique peircienne pour établir notamment une classification sémiotique des nombreuses images qui sont produites dans ces laboratoires de physique. J'ai également étendu ma réflexion aux images produites en pharmacologie et plus récemment aux illustrations scientifiques produites dans un cadre de recherche scientifique en archéologie, en paléontologie et en chirurgie. Pour plus de précisions, voir sur ce point : Allamel-Raffin, 2004a, 2004b, 2004c, 2009, 2014.

15 Le cartographe ne rencontre pas de difficultés de cette nature : il cherche à représenter une part de la réalité observable. Celle-ci peut supposer le recours aux rayonnements infrarouges ou ultraviolets, ou encore, par exemple, la collecte de données concernant la dimension socio-spatiale dans la répartition des mouvements des hommes ou des objets. Mais en dernière instance, le statut ontologique des entités détectées en physique des surfaces et en astrophysique est particulier : l'inaccessibilité définitive du référent au moyen de nos sens.

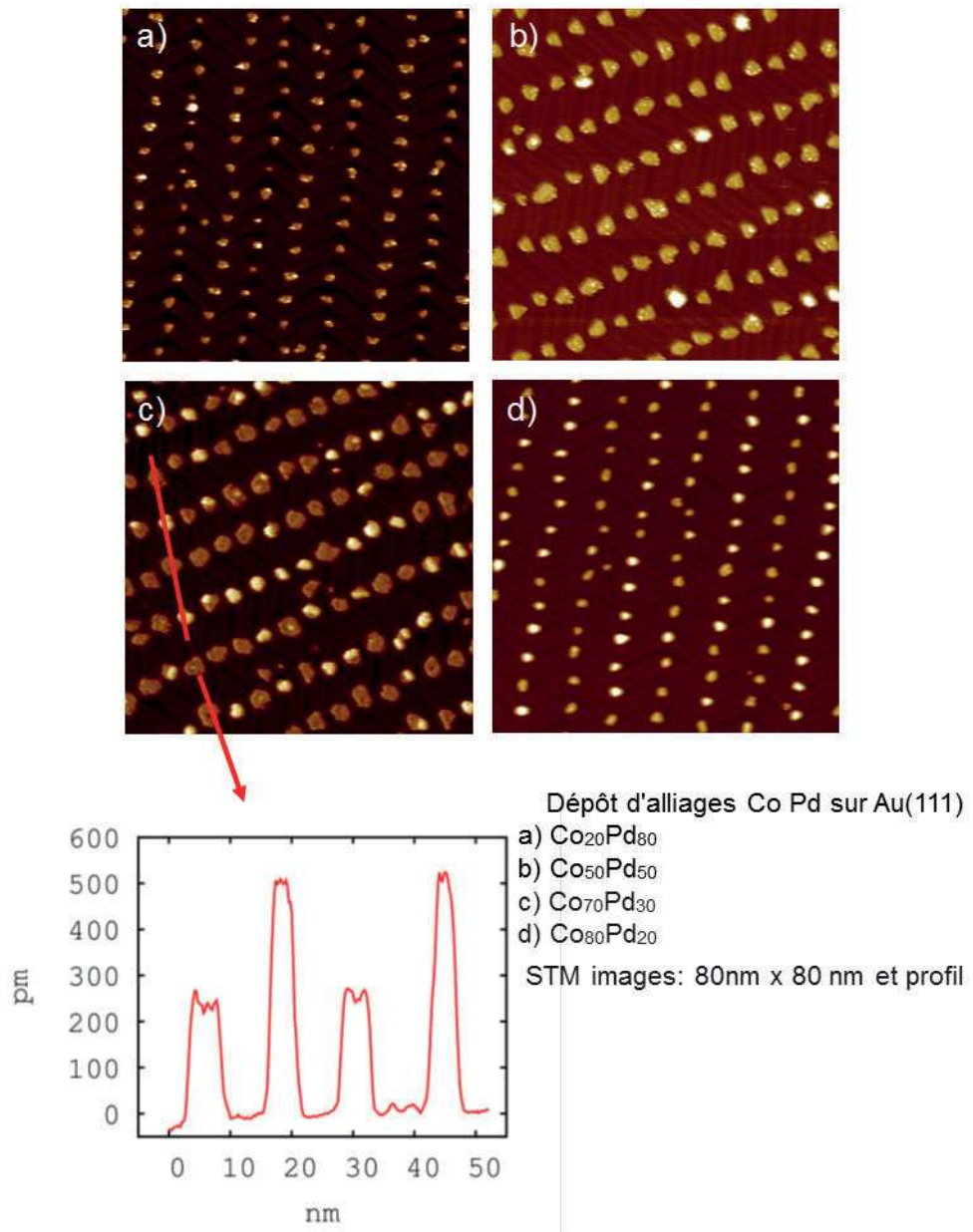


Figure 1 : Images sources et image retraitée. F. S. / DSI.

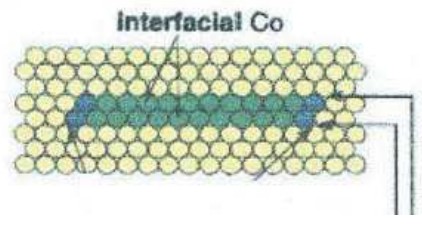


Figure 2 : Image de modélisation d'atomes de cobalt sur or. F. S. / DSI.

L'approche du Groupe μ : comprendre les processus de construction et de consolidation du sens d'une image

Parce que les images produites dans le cadre de la recherche en physique des surfaces et en astrophysique ne renvoient que rarement à du déjà connu, leur sens n'est pas immédiatement donné. Un impératif initial consiste donc pour les chercheurs à s'accorder quant à ce qui est représenté sur une image source. Cet accord est construit progressivement au cours d'échanges verbaux (en physique des surfaces) ou à travers des échanges de mails (en astrophysique), l'objectif étant de distinguer ce qui est artefactuel¹⁶ de l'information scientifiquement pertinente.

Pour rendre compte de la construction et de la consolidation d'un tel accord, en mettant l'accent sur la dimension proprement matérielle de l'image, la distinction signe plastique / signe iconique élaborée par le Groupe μ s'avère féconde. Le signe plastique permet de se concentrer sur les caractéristiques matérielles de l'image. Différentes familles de signes plastiques peuvent être distinguées : les couleurs, les formes et les textures (Groupe μ , 1992, p. 196). À partir de là et en s'appuyant sur les acquis des sciences cognitives, le Groupe μ examine comment, lors d'une lecture d'image, sont progressivement dégagés des qualités, puis des entités, des objets, des classes d'objets et enfin des encyclopédies. Toutes ces catégories sont parfaitement repérables dans l'analyse des conversations qui ont lieu autour d'une image source, lorsque l'enjeu pour les chercheurs est de parvenir à identifier clairement les éléments de l'image qui se révéleront intéressants sur le plan scientifique. La difficulté, lorsqu'on travaille par exemple avec un microscope électronique à transmission (MET), c'est précisément d'établir des seuils afin de déterminer ce qui doit être conçu ou non comme une entité réelle.

Je m'en tiendrai ici à un exemple en physique des surfaces. Au cours de l'observation d'un échantillon de multicouches cuivre, fer, cobalt sur du silicium, la microscopiste n'a pas vu d'emblée ce qu'un chercheur (celui qui a fabriqué l'échantillon) distingue en l'assimilant à une ligne blanche, telle qu'elle figure sur l'image ci-dessus. L'objectif du chercheur est précisément de repérer des lignes permettant d'affirmer que l'échantillon est organisé en un « sandwich » de fines couches de matériaux (cuivre, fer, cobalt sur du silicium).

Dans les termes qui sont ceux du Groupe μ , le chercheur détecte la qualité « blanc » sur l'image produite grâce au

MET. La détection de cette qualité permet de distinguer une ligne blanche qui a un statut d'entité (il s'agit d'une *qualité réifiée*) et de la discriminer par rapport au caractère grisé de son environnement immédiat. Pour mener à bien une telle entreprise, l'observateur doit parvenir à différencier des qualités telles qu'elles lui apparaissent sur l'image. L'aspect le plus important à l'œuvre dans le mécanisme de différenciation, c'est *le seuillage*. En effet, en deçà d'un certain seuil d'intensité, les variations de stimuli ne sont pas prises en considération. Ainsi, l'œil de la microscopiste, pourtant accoutumée à ce travail, n'a pas procédé à ce seuillage dans le cas de la « couche » (ressemblant à une très fine ligne blanche) observée en revanche par le chercheur.

Quand l'expérience des qualités et des entités fait apparaître des coordinations régulières, qui possèdent une certaine constance dans le temps, on dira avec le Groupe μ qu'on a affaire à un *objet*. Par exemple, les scientifiques ont réalisé de nombreuses fois l'expérience, sur divers échantillons, de zones rondes, à l'aspect granuleux, gris foncé et peu lumineuses. Cet objet est appelé « grain » et est constitué de qualités coordonnées.

L'identification des objets ne suffit pas. Conformément à ce que tout être humain tend à faire spontanément, les chercheurs regroupent ou séparent les objets qu'ils appréhendent visuellement. Ils se livrent ainsi à une activité de classification. Des classes finissent par être constituées en repérant des qualités associées, c'est-à-dire des objets, qui donnent lieu à des recoupements au terme desquels ils sont associés ou non les uns avec les autres. Par exemple, les chercheurs identifient, lorsqu'ils utilisent un microscope électronique à transmission, des zones comportant des grains, c'est-à-dire des zones rondes, à l'aspect granuleux, gris foncé et peu lumineux. Ils vont stabiliser le sens qu'ils leur confèrent en parlant à leur propos de « couche de polycristallins ». La mise en évidence et le stockage d'entités permet ainsi d'élaborer des *classes d'objets*.

Ces classes une fois constituées, il faut encore mettre au point des ensembles de règles les régissant. Par exemple, sur les bords d'une couche de polycristallins, on peut trouver éventuellement une zone non polycristalline : celle-ci ne sera jamais située au centre de la zone polycristalline. Ce type de précision va figurer dans l'*encyclopédie* progressivement constituée dans le cadre de l'activité de recherche collective. L'encyclopédie, au sens du Groupe μ , est définie comme « un système donné de classement d'entités distinguées selon leurs qualités et auxquelles on attribue certaines interactions. » (Klinkenberg, 2000, p. 106). Les encyclopédies forgées empiriquement, dans des contextes déterminés, par les

16 Au sens ici d'effet indésirable.

individus, comportent une part personnelle résultant de l'expérience singulière de chaque chercheur. La part collective et partagée résulte, quant à elle, du travail en collaboration et des interactions au sein du laboratoire. Ce dernier requiert une fréquentation régulière et renouvelée des microscopes. La sédimentation (individuelle et collective) des encyclopédies est lente et jamais achevée.

Quand, armé des concepts opératoires du Groupe μ , on observe, dans la posture de l'ethnographe de laboratoire, les chercheurs discutant à propos du sens à conférer aux éléments constitutifs d'une image source, on se rend compte qu'ils n'associent pas les mêmes qualités les unes aux autres. Par conséquent, ils n'aboutissent pas spontanément à l'identification des mêmes entités et à l'affirmation de l'existence des mêmes objets. Pourquoi, alors qu'ils ont cependant tous la même image « sous les yeux » ? C'est parce que le sens d'une image est fortement dépendant de son contexte de production (fabrication de l'échantillon, fonctionnement de l'instrument) et des théories physiques d'arrière-plan ou encore des attentes causées par la lecture de publications antérieures portant sur le même type d'objets d'étude. Chaque participant à l'observation est détenteur d'une partie seulement des informations nécessaires (la microscopiste connaît son instrument et la théorie de celui-ci, le chercheur connaît les propriétés des matériaux de son échantillon et les conditions de l'élaboration de ce dernier, etc.). L'objectif est de parvenir à mutualiser les connaissances. Quand les chercheurs sont parvenus à un accord sur le sens à conférer à une image source, ils peuvent alors, et alors seulement, exploiter cette dernière en produisant à partir d'elle d'autres images – les images retraitées – ce qui permet l'accès à des informations beaucoup plus précises. Grâce à ces dernières, le sens de l'image source est stabilisé.

Sur ce point, c'est la notion de signe iconique développée par le Groupe μ qui permet de préciser l'analyse. Le signe iconique est « un type de représentation qui, moyennant un certain nombre de règles de transformations visuelles, permet de connaître certains objets du monde » (Joly, 1994, p. 96). « Le signe iconique possède certains caractères du référent, conformément à la définition classique (...) Il possède aussi certains caractères ne provenant pas du modèle, mais du producteur d'image » (Groupe μ , 1992, p. 133). Dans ce cadre-là, le Groupe μ propose une classification des transformations effectuées intentionnellement par le producteur d'images. Elles sont de quatre types :

- géométrique (il s'agit alors des projections, des homothéties, des transformations topologiques) ;
- analytique (les transformations en question reposent

sur le recours à l'algèbre : la discrétisation, par exemple) ;

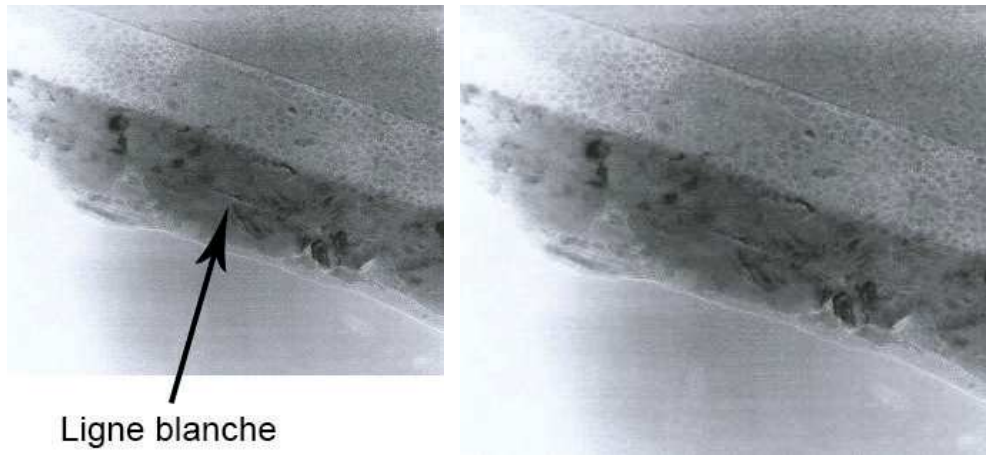
- optique (ces transformations se présentent par exemple sous la forme d'une amélioration de contraste, ou sous celle d'un rajout de couleurs) ;
- cinétique (c'est l'observateur qui la produit en changeant sa position, et donc l'angle de vision).

Par exemple, une fois le sens de l'image source fixé, les chercheurs procèdent souvent à des transformations analytiques ou optiques à partir de celle-ci. Ci-dessous, en gris, on peut voir une image source réalisée au moyen d'un microscope à effet tunnel. L'image retraitée, obtenue par transformation analytique, représente le relief observé le long de la ligne virtuelle blanche tracée sur l'image.

L'information contenue dans l'image retraitée après transformation analytique est beaucoup plus précise et permet de confirmer que sur l'image source, il semble y avoir des « marches » de hauteur décroissante (c'est là précisément l'objet de la recherche dans le cadre de cette étude).

À ce stade de notre réflexion, nous comprenons que ce qui est important dans la production et les fonctions des images en physique des surfaces et en astrophysique, c'est qu'une fois la visibilité acquise *via* notamment les instruments scientifiques (et très souvent acquérir cette visibilité est déjà un travail en soi, il faut parfois plusieurs mois en physique des surfaces pour obtenir une image « correcte », conforme au niveau d'exigence de la communauté scientifique concernée), il faut que ces images soient également lisibles. Pour approfondir cette notion de lisibilité, je vais recourir à une analogie avec la lisibilité d'un texte imprimé. *Lisible* est en effet un terme qui peut s'entendre en deux sens au moins :

- un texte est dit *lisible* quand il rend possible la constitution, par le lecteur, d'unités de sens à partir d'unités élémentaires, jusqu'à parvenir en définitive au sens du texte dans sa globalité. C'est ce qu'on entend couramment sous la dénomination de « construction du sens » par le lecteur. Dans le cas de mes images, cela suppose donc la construction préalable d'un univers sémantique commun. Les travaux du Groupe μ évoqués plus haut autour de la construction du sens d'une image se révèlent vraiment utiles en ce qu'ils permettent de cerner les procédures cognitives requises pour que « le sens vienne à l'image » ;
- un texte est dit *lisible*, en un deuxième sens, quand son agencement sur son support matériel est tel qu'il facilite la lecture. Il s'agit des artifices de mise en page : titres, caractères italiques ou gras, signes



Ligne blanche

Ligne blanche

Figure 3 : Image MET. Multicouches cuivre, fer, cobalt sur du silicium $\times 840000$. G. E. / DSI

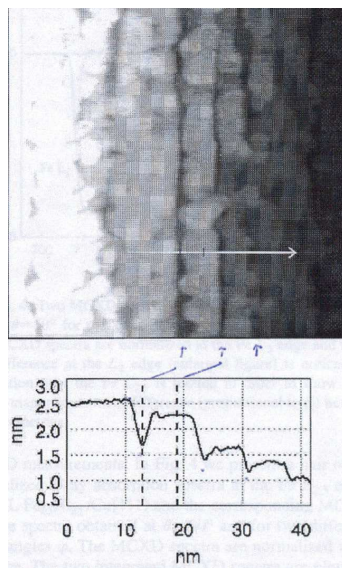


Figure 4 : Image source réalisée avec un microscope à effet tunnel et image retraitée d'un dépôt de fer et de nickel sur un substrat de cuivre. J.-P. D. / DSI

de ponctuation, etc., – autrement dit du traitement matériel appliqué au support. Dans le cas qui nous intéresse ici, ce sont tous les traitements effectués sur l'image source au terme desquels on obtient des images retraitées. Ici encore, le Groupe μ peut offrir des ressources analytiques appréciables, avec la notion de signe iconique. Mais pour préciser les enjeux de ce deuxième type de lisibilité, je vais m'inspirer plutôt d'Edward R. Tufte (1983, 1990, 1997, 2006). Celui-ci a développé une réflexion sur les techniques de visualisation de l'information dans de nombreux domaines scientifiques, en particulier en astronomie, en géographie, en ingénierie, en chirurgie, en économie, etc.

Pour l'ensemble des représentations scientifiques, quelles qu'elles soient (images, illustrations, cartes, graphiques, etc.), Tufte affirme :

« Il y a de bonnes et de mauvaises manières de présenter les données. Certaines nous donnent un accès à la vérité, d'autres ne le font pas. » (Tufte, 1997, p. 45, traduction personnelle).

L'ensemble de l'œuvre de Tufte vise à analyser les manières de produire des représentations scientifiques. L'ambition avouée de cet auteur est plus précisément de prodiguer des indications en vue d'obtenir les représentations les plus adéquates possibles par rapport au but fixé, au sein d'un domaine scientifique donné. La proximité avec la démarche de Bertin doit ainsi être réaffirmée ici¹⁶.

Tufte aborde une multitude de disciplines scientifiques, et c'est ce qui fait la richesse de son œuvre, puisqu'il parvient à identifier des stratégies transdisciplinaires en matière de traitement graphique de l'information. En vue de réaliser une représentation scientifique adéquate, il faut impérativement, selon lui, prendre en compte comment, quand et où cette représentation va être utilisée (*Ibid.*, p. 115). Pour ma part, je vais me limiter aux réflexions de Tufte relatives à l'usage de la couleur dans les images scientifiques¹⁷.

Dans cette perspective, concernant la fonction de la couleur, Tufte note tout d'abord que quels que

soient les domaines concernés, elle est toujours utilisée parcimonieusement. Il ne faut pas qu'elle vienne perturber la transmission d'informations. L'utilisation de la couleur, en tant que vecteur d'information en science, correspond en réalité à plusieurs fonctions :

« ... Les usages essentiels de la couleur dans le traitement graphique de l'information : labelliser (la couleur pour désigner), mesurer (la couleur pour quantifier), imiter la réalité (la couleur pour représenter) et mettre en valeur ou embellir » (Tufte 1990, p. 81).

L'usage de la couleur dans les images scientifiques

Dans les domaines des sciences de la nature étudiant des phénomènes situés hors du champ du visible en raison de leur taille, de leur éloignement ou de leur nature même (rayons gamma, trous noirs), les scientifiques utilisent ce qu'ils appellent des fausses couleurs afin de réaliser leurs images. Celles-ci sont alors, nous l'avons vu, le résultat d'interactions entre un objet ou un processus physique ou biologique, un détecteur de ces interactions et un dispositif imageant. Ce dispositif traduit en couleurs les signaux physiques produits par ces interactions, et respecte pour ce faire un code préalablement élaboré. Ainsi, lorsqu'un astrophysicien réalise des images en rayons X, il a le choix entre différentes gammes de fausses couleurs dans la mesure où il n'existe pas de gamme standard de couleurs imposée. Il peut ainsi recourir à des gammes différentes au sein d'une même publication. Les couleurs peuvent par exemple traduire l'intensité du rayonnement X, en adoptant pour convention une gamme allant du blanc au rouge en passant par l'orange et ce, en fonction de l'intensité du rayonnement X. D'autres astrophysiciens, travaillant dans le même domaine en rayons X, pourraient choisir une gamme de couleurs contrastées allant du rouge au noir en passant par le vert et le jaune.

En physique des surfaces et en astrophysique, c'est donc la convention qui domine nécessairement en ce qui concerne l'emploi des couleurs et il ne saurait en être autrement. Mais qu'en est-il, au sein de ces disciplines, des fonctions dégagées par Tufte ?

16 Comme le souligne Monmonier (1985, p. 608-609), les ouvrages de Bertin, *Sémiologie graphique* (1967) et de Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information* (1983) sont complémentaires : les propositions théoriques de Bertin exigent pour être clarifiées une mise à l'épreuve sous la forme d'applications pratiques, tandis que la stratégie plus inductive de Tufte lui permet de passer sans difficulté de remarques à caractère historique à des considérations prescriptives. De ce fait, le champ des lecteurs potentiels de Bertin est plus réduit : son œuvre est susceptible d'intéresser tous ceux dont les métiers tournent autour de la réalisation de cartes ou du traitement graphique de l'information. Tufte, pour sa part, s'adresse à une audience bien plus large, incluant les journalistes, les analystes politiques, tous ceux qui sont amenés à exploiter des données quantitatives et l'ensemble de la communauté des géographes. Ce qui est affirmé sur ce point par Monmonier à propos du livre publié en 1983 par Tufte se révèle valable pour l'ensemble de son œuvre.

17 L'approche des couleurs dans l'ouvrage de Bertin se restreint aux variables visuelles teinte et valeur et ne s'intéresse que très brièvement à l'harmonie, à la symbolique et à l'esthétique des couleurs. Ceci s'explique probablement par le fait que les couleurs, dans les années 1960, étaient peu utilisées en raison de leur coût d'impression élevé.

La couleur pour labelliser

La couleur ne sert en général pas à labelliser. Dans les illustrations de chirurgie, par exemple, la couleur est utilisée pour désigner graphiquement certains éléments du corps humain (les artères en rouge, les veines en bleu, les nerfs en jaune, etc.). En revanche, ce qui est représenté sur les images de physique des surfaces, ce sont des interactions, des cartes de propriétés (magnétiques, chimiques, etc.) d'objets inaccessibles à nos sens, et ces propriétés doivent avant tout être quantifiées et mesurées. Il en va de même en astrophysique. Le recours à la fonction de labellisation est donc hors de propos dans ces disciplines.

La couleur pour mesurer

C'est un usage très courant dans les sciences de la nature. En physique des surfaces, par exemple, l'échelle des couleurs peut permettre d'indiquer des mesures physiques. Revenons sur le cas de l'image correspondant à la figure 1 : elle a été réalisée avec un microscope à effet tunnel et donne à voir des dépôts d'alliage de cobalt et de palladium sur un substrat d'or. Un tel microscope fournit des informations sur le relief des échantillons et les couleurs représentent alors les différentes hauteurs suivant une échelle déterminée. Un tel usage des couleurs repose sur le fait que « la couleur est un quantificateur naturel, avec un spectre continu sur le plan de la perception (en valeur et en saturation), d'une incroyable précision dans l'établissement de distinctions, presque comparable à celle de la plupart des mesures physiques. » (*Ibid.*, 1990, p. 81).

La couleur pour imiter la réalité

Conformément à ce que j'ai déjà indiqué, dans des sciences comme la physique des surfaces ou l'astrophysique, user de la couleur pour imiter une quelconque réalité n'a strictement aucun sens, puisque cette « réalité » est inaccessible à nos récepteurs visuels.

La couleur pour mettre en valeur

C'est une fonction de la couleur que l'on rencontre souvent dans les sciences de la nature. Dans le cas d'une image, le choix d'une gamme de couleur non monochrome et fortement contrastée est établi par le chercheur en vue de faire ressortir le phénomène qu'il souhaite placer au premier plan. Ainsi, ce qui est colorisé, ce sera, par exemple, une intensité de courant

électrique à la surface d'un échantillon. Le chercheur, dans ce cas, utilisera une gamme de couleurs fortement contrastées afin de mieux percevoir un phénomène, une forte intensité de courant (en rouge) étant toujours corrélée avec une intensité moindre (en vert), et non pas avec une intensité nulle (en bleu). Pour vérifier que l'association de couleurs n'est pas un artefact dû à la colorisation, le chercheur dénombrera en recourant à l'ordinateur les pixels correspondant aux différents points et zones colorisés, et répartira ensuite ce nombre de pixels de manière aléatoire sur une surface équivalente à la surface de départ. Il s'agit, par ce biais, de montrer que l'image colorisée obtenue n'est pas l'effet du hasard. Les trois couleurs très contrastées rendent l'image immédiatement parlante et mettent en valeur l'information scientifique considérée comme importante. Si une gamme monochrome était utilisée en lieu et place de la gamme de couleurs, l'information serait beaucoup moins immédiatement visible.

La couleur pour embellir

Un tel usage des couleurs n'est pas absent dans les sciences de la nature. Tout au contraire, l'ensemble des scientifiques que j'ai pu interroger le mentionne. Puisqu'ils ont un très grand choix dans l'utilisation des couleurs en raison de leur caractère conventionnel, ils retiennent celles qui, à leur sens, sans déformer les informations scientifiques, renforcent la qualité esthétique d'une image donnée. Pourquoi ? Parce qu'il s'agit d'attirer l'attention du futur lecteur et qu'une « belle image », en l'occurrence, peut constituer une incitation à lire un article. C'est en tout cas l'argument souvent avancé par les chercheurs eux-mêmes. Par-delà la justesse de l'information délivrée dans le cadre d'une illustration scientifique, le fait qu'une image soit belle est important pour favoriser l'accès du lecteur au propos de l'image et cela passe notamment par l'usage de la couleur.

Ainsi, ce que permettent, à l'occasion de la brève analyse qui précède, les travaux de Tufte, c'est de comprendre pourquoi et à quelles fins la couleur est utilisée en physique des surfaces et en astrophysique. Elle remplit bien certaines des fonctions répertoriées dans ces travaux. Mais il faut préciser que l'intérêt de ces derniers ne se réduit de loin pas aux usages qui peuvent être faits des couleurs. Tufte a en particulier beaucoup réfléchi au « principe de la plus petite différence effective »¹⁸, au fait que certaines images ont une

18 Le principe de base appelé « la plus petite différence effective » est énoncé ainsi : « Il faut rendre toutes les distinctions visuelles aussi fines que possible, mais elles doivent rester claires et conserver leur efficacité. (...) En termes de traitement graphique de l'information, l'idée est alors de travailler à partir de la plus petite différence effective, d'utiliser des éléments visuels qui permettent de saisir une différence nette – utiliser des contrastes définis qui soient à la fois efficaces et minimaux. » (Tufte 1997, p. 73). Un tel principe est appliqué par Tufte à toutes sortes d'éléments secondaires de la représentation : « (...) L'idée de la plus petite différence effective permet de donner leur forme à toutes sortes d'éléments de l'appareil éditorial secondaire dans la manière d'exposer l'information – flèches, traits d'appel, échelles, lignes brisées pour signifier les éléments incomplets, grilles, mailles, règles, soulignements, cadres, boîtes, compartiments, codes, ombres, etc. » (*Ibid.*, p. 74).

dimension diagrammatique, etc. Je ne peux ici détailler tous les exemples qui viendraient montrer en quoi les ouvrages de Tufte fournissent au lecteur une véritable boîte à outils lorsqu'il s'agit de comprendre pourquoi certains choix effectués quant à la représentation des données, en fonction des contextes de diffusion et de réception, sont plus pertinents que d'autres.

Conclusion

Les travaux de Charles S. Peirce, du Groupe μ et d'Edward R. Tufte doivent-ils être considérés comme l'alpha et l'oméga de la sémiotique appliquée aux images scientifiques (les cartes – géographiques ou non – n'étant qu'un sous-ensemble de la catégorie des « images scientifiques ») ? Non, car comprendre les phénomènes de sens liés à ces images nécessite avant tout l'adoption d'une attitude pragmatique. Mes enquêtes ultérieures dans deux autres disciplines scientifiques, la pharmacologie et la chimie supramoléculaire me montrent qu'il faut toujours rester ouvert à d'autres cadres sémiotiques et que le choix des instruments d'analyse doit être opéré en tenant compte de la spécificité des objets d'étude des disciplines concernées. Si en pharmacologie, une grille d'analyse d'inspiration peircienne et les catégories d'analyse du Groupe μ sont transposables, il en va tout autrement de la chimie en général, et de la chimie supramoléculaire en particulier. Les représentations, dans ce dernier cas, semblent justiciables d'une analyse sémiologique d'inspiration

saussurienne, tant la part de convention y est grande et tant le référent semble avoir été évacué au moment de la création de la discipline. De manière analogue, on peut rendre compte des images exploitées dans le cadre de la vulgarisation scientifique en recourant à une analyse de type barthésien, en convoquant notamment le concept de connotation. Cela dit, et pour revenir à la comparaison entre les cartes en géographie et les images en physique des surfaces et en astrophysique, il me semble que les travaux du Groupe μ , parce qu'ils accordent une grande place aux processus de lecture d'une image en s'inspirant des sciences cognitives, pourraient se révéler utiles pour des géographes. C'est d'ailleurs ce que souligne Laurent Jégou dans ses travaux (2013). Quant à ceux de Tufte, ils semblent déjà connus par cette communauté de chercheurs ...

Ce que vise à souligner cette conclusion, c'est la nécessité d'un œcuménisme sémiotique, essentiellement pragmatique, qui s'adapte aux types d'objet visuels étudiés, loin des querelles de chapelle : l'analyste qui souhaite rendre compte de ce que sont les images scientifiques en tant que signes a tout intérêt à partir des contextes de leur production *et* de leur réception. Il doit alors seulement se poser la question de la pertinence du recours à tel ou tel courant sémiotique ou sémiologique et pourra, à cette condition, véritablement saisir les phénomènes de sens liés à ces images, sans jamais s'interdire de mobiliser l'un ou l'autre.

Bibliographie

Allamel-Raffin C., 2004a, *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences et des techniques, Strasbourg Université Louis Pasteur. France. En ligne : <http://science-societe.fr/allamel-raffin-catherine-%C2%AB-la-production-et-les-fonctions-des-images-en-physique-des-materiaux-et-en-astrophysique-%C2%BB-doctorat-en-epistemologie-et-histoire-des-sciences-et-des-techniques/>

Allamel-Raffin C., 2004b, « La doctrine d'un philosophe expérimentaliste au service d'une science particulière : les images produites en physique des matériaux à la lumière de la sémiotique peircienne », *Visio*, n° 9, p. 159-174.

Allamel-Raffin C., 2004c, « La complexité des images scientifiques. Ce que la sémiotique de l'image nous apprend sur l'objectivité scientifique », *Communication et langages*, n° 149, p. 97-111.

Allamel-Raffin C., 2005a, « De l'intersubjectivité à l'interinstrumentalité. L'exemple de la physique des surfaces », *Philosophia Scientiae*, vol. 9, n° 1, p. 3-31.

Allamel-Raffin C., 2005b, « De la lunette de Galilée au microscope à effet tunnel », *Les Génies de la Science*, n° 23, p. 10-15.

Allamel-Raffin C., 2009, « L'apport d'une perspective génétique à l'analyse des images scientifiques », *Protée*, vol. 37, n° 3, p. 19-32.

Allamel-Raffin C., 2010, « Objectivité et images scientifiques : une perspective sémiotique », *Visible* n° 6, p. 3-31.

- Allamel-Raffin C.**, 2011, « The Meaning of a Scientific Image: Case Study in Nanoscience. A Semiotic Approach », *Nanoethics*, vol 5, n° 2, p. 165-173.
- Allamel-Raffin C.**, 2014, *Objectivité et illustrations scientifiques contemporaines*, Habilitation à Diriger des Recherches, Strasbourg, Université de Strasbourg.
- Allamel-Raffin C.**, 2016, « Objectivité et emploi de la couleur dans les images scientifiques », dans *De la couleur comme code*, S. Chamaret (dir.), Strasbourg, HEAR-Zeug Editeur, p. 32-42.
- Allamel-Raffin C., Gangloff J.-L.**, 2012, « Robustness and Scientific Images », Nickles T., Soler L., Trizio E. & Wimsatt W. (dir.), *Characterizing the Robustness of the Sciences After the Practical Turn in Philosophy of Science*, Boston Studies in Philosophy and History of Science n° 292, Springer, p. 169-188.
- Bertin J.**, 1967, *Sémiologie graphique*, Paris-La Haye, Gauthier-Villars/Mouton & Cie.
- Blin É., Bord J.-P.**, 1984, *Initiation géographique ou comment visualiser son information*, Paris, CDU et SEDES réunis.
- Board C.**, 1991, « Report of the ICA working group on cartographic definitions », *The Cartographic Journal*, vol. 28, n° 2, p. 249-250.
- Brotton J.**, 2015, *Great Maps. The World's Masterpieces Explored and Explained*, Londres, Penguin Random House.
- Clément P.**, 1996, « L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques », *Aster*, n° 22, p. 87-123.
- Comité français de cartographie**, 1990, « Glossaire de cartographie », *Le Monde des Cartes*, n° 123-124.
- Eco U.**, 1999, *Kant et l'ornithorynque*, Paris, Grasset.
- Groupe μ**, 1992, *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Seuil.
- Hacking I.**, 1989, *Concevoir et expérimenter*, Paris, Christian Bourgois (traduction de *Representing and Intervening*, 1983, Cambridge, Cambridge University Press).
- Jégou L.**, 2013, *Vers une nouvelle prise en compte de l'esthétique dans la composition de la carte thématique : propositions de méthodes et d'outils. Histoire*. Université Toulouse le Mirail- Toulouse II. Français. <NNT : 2013TOU20017>. <tel-00863525>, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00863525>, consultée le 22/06/216.
- Joly M.**, 1994, *L'image et les signes. Approche sémiologique de l'image fixe*, Paris, Nathan.
- Klinkenberg J.-M.**, 2000, *Précis de sémiotique générale*, Paris, De Boeck.
- Monmonier M.**, 1985, « Books Review: Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps », by Jacques Bertin, William J. Berg, *The Visual Display of Quantitative Information*, by Edward R. Tufte », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 75, n° 4, p. 605-609.
- Peirce C. S.**, 1960, *Collected papers*, Cambridge, Harvard University Press.
- Peirce C. S.**, 1978, *Écrits sur le signe* (rassemblés, traduits de l'anglais et commentés par G. Deledalle), Paris, Seuil.
- Simon G.**, 1999, « Image », D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris, Puf, p. 491-494.
- Tufte E. R.**, 1983, *The Visual Display of Quantitative Information*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- Tufte E. R.**, 1990, *Envisioning Information*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- Tufte E. R.**, 1997, *Visual Explanations. Images and Quantities, Evidence and Narrative*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- Tufte E. R.**, 2006, *Beautiful Evidence*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press.