

PROTÉE

revue internationale de théories et de pratiques sémiotiques

volume 37 numéro 3 • hiver 2009-2010

REGARDS CROISÉS SUR LES IMAGES SCIENTIFIQUES



PROTÉE paraît trois fois l'an. Sa publication est parrainée par le Département des arts et lettres de l'Université du Québec à Chicoutimi. Ce département regroupe des professeurs et chercheurs en littérature, en arts visuels, en linguistique, en théâtre, en cinéma, en langues modernes, en philosophie, en enseignement du français et en communication. **PROTÉE** est subventionnée par le Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture, le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada, la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi, le Programme d'aide institutionnelle à la recherche, le gouvernement du Canada par l'entremise du Programme d'aide aux publications, l'Institut de recherches technolittéraires et hypertextuelles et le Département des arts et lettres de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Directeur : Luc Vaillancourt. Adjointe à la rédaction : Michelle Côté.
Conseiller à l'informatique : Jacques-B. Bouchard. Conseillère à la sélection d'artistes : Nathalie Villeneuve.
Secrétaire : Christiane Perron.

Responsable du présent dossier : Catherine Allamel-Raffin.
Page couverture : Guy Blackburn, « Touche », 2005, Galerie du Centre Sagamie, Alma.

Comité de rédaction :

Frances FORTIER, Université du Québec à Rimouski
Bertrand GERVAIS, Université du Québec à Montréal
Marie-Pascale HUGLO, Université de Montréal
François OUELLET, Université du Québec à Chicoutimi
Josias SEMUJANGA, Université de Montréal
Luc VAILLANCOURT, Université du Québec à Chicoutimi

Comité Conseil international :

Anne BEYAERT-GESLIN, Université de Limoges
François JOST, Université de la Sorbonne Nouvelle (Paris III)
Eric LANDOWSKI, Centre national de la recherche scientifique
Louise MLOT, Université du Québec

Comité de lecture* :

Jacques BACHAND, Université du Québec
Robert DION, Université du Québec à Montréal
Mustapha FAHMI, Université du Québec à Chicoutimi
Gillian LANE-MERCIER, Université McGill
François LATRAVERSE, Université du Québec à Montréal
Jocelyne LUPIEN, Université du Québec à Montréal
Anne Martine PARENT, Université du Québec à Chicoutimi
Paul PERRON, Université de Toronto
Fernand ROY, Université du Québec à Chicoutimi
Lucie ROY, Université Laval
Paul SAINT-PIERRE, Université de Montréal
Gilles THÉRIEN, Université du Québec à Montréal
Christian VANDENDORPE, Université d'Ottawa

* La revue fait aussi appel à des lecteurs spécialistes selon les contenus des dossiers thématiques et des articles reçus.

Administration : PROTÉE, 555, boul. de l'Université, Chicoutimi, Québec, Canada - G7H 2B1, téléphone : (418) 545-5011, poste 5396, télécopieur : (418) 545-5012.

Adresse électronique : protee@uqac.ca. Site Web : www.uqac.ca/protee. Distribution : Presses de l'Université du Québec, 2875, boul. Laurier, Sainte-Foy, Québec - G1V 2M2, téléphone : (418) 657-4399. PROTÉE est membre de la Société de développement des périodiques culturels québécois (SODEP). Les textes et illustrations publiés dans cette revue engagent la responsabilité de leurs seuls auteurs. Les documents reçus ne sont pas rendus et leur envoi implique l'accord de l'auteur pour leur libre publication. PROTÉE est diffusée sur Érudit, portail des revues savantes (www.erudit.org) et indexée dans Argus, Klapp, Ulrich's International Periodicals Directory, OXPLUS et dans le Répertoire de la vie française en Amérique. L'impression de PROTÉE a été confiée à l'Imprimerie commerciale.

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Programme d'aide aux publications pour nos dépenses d'envoi postal. 

Envoi de Poste-publications – Enregistrement n° 07979

Dépôt légal : Bibliothèque nationale du Canada, Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Tous droits de reproduction, d'adaptation et de traduction réservés © PROTÉE 2009

ISSN-0300-3523

REGARDS CROISÉS SUR LES IMAGES SCIENTIFIQUES

Présentation / Catherine Allamel-Raffin 5

• PREMIÈRE PARTIE. Images, pratiques scientifiques et construction du sens

ANALYSE DES IMAGES SCIENTIFIQUES PAR LE CONCEPT D'OBSERVATION / *Vincent Israël-Jost* 9

L'APPORT D'UNE PERSPECTIVE GÉNÉTIQUE

À L'ANALYSE DES IMAGES SCIENTIFIQUES / *Catherine Allamel-Raffin* 19

LA STRATIFICATION TEMPORELLE DANS L'IMAGE SCIENTIFIQUE / *Maria Giulia Dondero* 33

LES FONCTIONS SÉMIOTIQUE ET HEURISTIQUE DES SYMBOLES CHIMIQUES

ou de l'icône au symbole et retour / *Francis Edeline* 45

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE, L'ÉCHELLE, LE POINT DE VUE / *Anne Beyaert-Geslin* 57

À QUOI SERVENT LES SCHÉMAS? Tabularité et dynamisme linéaire / *Jean-Marie Klinkenberg* 65

LA SCIENCE DE GUY BLACKBURN

Une présentation de *Christine Martel* 75

• DEUXIÈME PARTIE. Images et situations de communication

L'IMAGE COMME OUTIL DE LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE : diversité et spécificités / *Luc Desnoyers* 81

L'IMAGERIE COMPOSITE dans la communication scientifique / *Martina Merz* 93

LE RÔLE DES VISUELS DANS UN ARTICLE DE REVUE SCIENTIFIQUE.

La formation d'un montage-type / *Jacques Fontanille* 105

HORS DOSSIER

CHASSÉS-CROISÉS À PROPOS DU FILM *DANCING*

(P. M. Bernard, X. Brillat et P. Trividic – France, 2003) / *Marie-Françoise Grange* 119

RÉSUMÉS / ABSTRACTS 125

NOTICES BIOGRAPHIQUES 128

REGARDS CROISÉS SUR LES IMAGES SCIENTIFIQUES

CATHERINE ALLAMEL-RAFFIN

Les images, au sens le plus courant du terme, sont omniprésentes dans l'activité scientifique, tant lors des phases de production des données expérimentales que lors des phases de présentation des résultats, sous forme de communications dans des colloques ou de publications destinées à des profanes ou à des spécialistes du domaine de recherche concerné.

Lorsqu'on inventorie les différents types de métadiscours auxquels les images scientifiques ont donné lieu depuis quelques décennies, on trouve avant tout de nombreux travaux d'historiens ou de socio-historiens et des travaux de sociologues. Ces travaux se révèlent précieux, mais ils n'intègrent que très rarement une réflexion à caractère sémiotique dans leur analyse des visuels en science. Parallèlement, les sémioticiens eux-mêmes se sont assez peu penchés sur ces constructions signifiantes créées et manipulées par les scientifiques, à quelques exceptions près.

Ainsi, les images scientifiques et les processus de signification dont elles sont les véhicules constituent un domaine d'investigation encore largement inexploré dans le champ des études sémiotiques, qui ont privilégié d'autres types d'objets, parmi lesquels on peut compter les œuvres d'art picturales et les illustrations diffusées au sein de ce qu'il est parfois convenu d'appeler l'industrie culturelle de masse. Parmi les raisons de cette désaffection de la part des sémioticiens, on compte le fait que l'interprétation des images scientifiques ne peut être dissociée des dispositifs techniques permettant de les produire. Il est en effet difficilement envisageable de déconnecter ces signes de leurs processus de production et d'utilisation, sous peine de perdre ce qui constitue la spécificité de la relation aux différents aspects du réel qu'ils sont censés représenter ou modéliser. Pour rendre compte de ces images, c'est-à-dire, entre autres, pour saisir quel est leur statut dans le cadre d'une recherche scientifique et dans la diffusion des résultats de cette dernière, il faut également comprendre *comment* et *pourquoi* elles ont été produites. Or, les principes et les modalités du fonctionnement des dispositifs techniques, mobilisés au sein de chaque domaine de recherche – qu'il s'agisse de la physique, de la biologie, de la géographie, etc. –, sont souvent d'une redoutable complexité aux yeux du non-initié. Cela doit-il décourager toute entreprise d'analyse sémiotique des images scientifiques? En aucune manière. En tant que signes permettant un accès au réel, ces images relèvent bien de plein droit du champ sémiotique. Il convient seulement d'être conscient des deux enjeux suivants, que l'on peut formuler de manière interrogative: d'un part, comment contourner l'obstacle qui vient d'être évoqué? Ne faut-il pas trouver des moyens de cerner ce qu'il en est de cette intime solidarité entre image, instrumentation et expérimentation, notamment en demandant au sémioticien lui-même de franchir la porte des laboratoires? D'autre part, ne doit-on pas se

demander si les outils développés par la sémiotique visuelle sont réellement appropriés quand il s'agit de se pencher sur les images dans les sciences? Ne faut-il pas envisager plutôt de réviser leur portée et d'en créer de nouveaux, plus adaptés à cet objet d'étude particulier?

L'ambition qui sous-tend l'ensemble des articles de ce dossier¹ est la suivante : poser les jalons correspondant à une première étape de réflexion sur les images scientifiques dans le champ sémiotique. Cela passe par la présentation de quelques pistes d'analyse, appartenant notamment, mais pas exclusivement, à plusieurs courants sémiotiques distincts (Groupe μ , École greimassienne), et prenant pour point d'appui des occurrences ou des types d'images déterminés, issus des recherches menées au sein de diverses sciences de la nature contemporaines.

Les axes structurant la problématique sont au nombre de trois :

- Il s'agira, en premier lieu, de *souligner, par le choix des objets d'étude retenus, la variété des « images scientifiques »*. En effet, cette expression recouvre un large spectre incluant dessins d'objets lithiques, diagrammes logiques, histogrammes, courbes, micrographies de nanotubes de carbone, images de simulation de galaxies, schémas de montage d'un appareillage, etc. Toutes ces images scientifiques ne peuvent être réduites au statut de données brutes des expériences ou de simples fictions. Elles permettent un type de médiation particulier avec le réel. Cette médiation, la science contemporaine l'a tout particulièrement perfectionnée en multipliant les modes de création et de traitement des images. Il s'agira de prendre en compte cette diversité et de s'interroger explicitement sur les ressources analytiques que pourraient offrir les différentes approches, sémiotiques ou non, présentées en vue de permettre de réduire cette diversité à une unité. Soulignons au passage que la volonté de réduire cette diversité s'est heurtée, de par le passé, à de multiples difficultés, notamment lorsqu'il s'est agi de bâtir une définition en compréhension du concept d'image scientifique. Une telle entreprise définitoire a posé problème aussi bien aux sémioticiens qu'aux philosophes, aux historiens et aux sociologues des sciences. Comme point de départ pour ce dossier, on pourra néanmoins s'accorder sur la définition suivante : « Image scientifique : tout ce qui est non textuel dans un document scientifique ». Cette définition est susceptible de constituer une base minimale sur laquelle pourraient s'accorder aussi bien sémioticiens, philosophes, historiens et sociologues des sciences, que les producteurs de ces images, qu'ils soient mathématiciens, physiciens, chimistes ou biologistes.
- En référence aux lignes qui précèdent, il conviendra d'*assumer d'emblée le fait d'une pluralité d'approches possibles à propos de l'objet d'étude général constitué par les images scientifiques*. Le pari étant que chaque approche permette de comprendre, sous un angle donné, les processus de signification à l'œuvre dans la production et l'utilisation de ces images.
- Enfin, il s'avérera fécond de *prendre en compte, dans le cadre des études de cas, les divers moments durant lesquels les images scientifiques sont produites et utilisées*. Pour reprendre l'expression-phare de l'anthropologie des sciences de ces dernières décennies et en la détournant quelque peu de sa visée initiale, il s'agira d'analyser les images aussi bien dans le cadre de la science en train de se faire (activités au sein du laboratoire) que dans le cadre de la science faite (publications, activités de vulgarisation).

Dans une première partie du dossier, l'accent sera mis avant tout sur les pratiques de production des images scientifiques et sur la nature des processus de constitution du sens qui sont à l'œuvre au cours de cette phase du travail des chercheurs.

Si l'activité d'observation semble être l'un des fondements de l'activité scientifique, ne faut-il, pas comme nous y invite Vincent Israël-Jost, nous pencher sur ce que signifie le mot « observation », et ce, plus spécialement depuis l'apparition de nouvelles techniques de visualisation ? Ainsi, l'utilisation des techniques d'imagerie a récemment soulevé chez les philosophes des sciences un débat concernant le statut des images produites, posant la question de savoir si l'on peut « voir » avec un microscope, un appareil d'IRM (imagerie par résonance magnétique) ou un détecteur de neutrinos. Que peut-on, dès lors, encore légitimement appeler « observation » ? Vincent Israël-Jost se propose de réfléchir sur les rapports qui s'établissent entre ces nouvelles images et le réel à travers deux exemples tirés des domaines médical et biomédical. Mais une réflexion sémiotique ne se doit-elle pas d'inclure aussi une perspective génétique ? Catherine Allamel-Raffin nous invite donc à étudier le rapport entre la constitution du sens des images et leur genèse au sein des laboratoires. La base de l'analyse de Catherine Allamel-Raffin est constituée par des études ethnographiques qu'elle a elle-même menées dans des laboratoires appartenant à deux disciplines des sciences de la nature, la physique des matériaux et la pharmacologie. L'auteur aboutit ainsi à l'élaboration d'une classification provisoire des images produites dans ces domaines de recherche en les envisageant sous l'angle de leur production.

La suite de cette partie du dossier se concentre sur des pratiques particulières recourant à des images scientifiques en essayant de comprendre comment et pourquoi certains dispositifs de visualisation s'imposent dans un domaine donné. Ainsi, Maria Giulia Dondero développe dans son article une analyse des différentes méthodes et stratégies de la représentation visuelle de la stratification temporelle dans deux disciplines, l'astrophysique et l'archéologie. L'analyse porte sur la comparaison entre les dispositifs de datation des astres et les dispositifs employés par l'archéologie dans l'étude des installations enfouies (visualisation des stratifications des sols à travers la prospection aérienne et la prospection géophysique). Comment et pourquoi ces deux disciplines, qui travaillent sur une mise en image des stratifications temporelles, ne recourent-elles pas aux mêmes stratégies de mise en images ?

Après avoir abordé dans cette partie la physique des matériaux, la pharmacologie, les sciences biomédicales, l'astrophysique et l'archéologie, notre intérêt s'oriente vers une discipline qui a su, plus que d'autres, créer son propre système de signes : la chimie. Francis Edeline nous convie à réfléchir sur l'émergence des systèmes de signes en chimie depuis l'époque de l'alchimie jusqu'à la période contemporaine. L'auteur soutient que les systèmes de signes déployés en chimie ont, comme tous les systèmes humains de notation graphique, suivi une évolution afin de mieux s'adapter aux contenus à transmettre. Et c'est cette évolution que dépeint Francis Edeline : à l'époque de l'alchimie, les signes sont basés sur un iconisme pur et simple. Cet iconisme sera remplacé sous l'influence de Lavoisier et de Berzelius par l'adoption de signes alphabétiques conventionnels, pour en arriver, dans la période contemporaine, à un système hybride tout à fait original et opérationnel combinant iconisme et symbolisme.

Le dernier domaine d'études envisagé est celui des photographies aériennes. Anne Beyaert-Geslin nous propose de nous pencher sur les photographies aériennes si étranges et pourtant si familières. En étudiant les questions du point de vue et d'échelle, l'auteur montre comment les photographies aériennes établissent une nouvelle *semiosis* et construisent au bout du compte un nouvel objet.

Enfin, la réflexion sur les pratiques de production des images scientifiques et sur la nature des processus de constitution du sens, qui sont à l'œuvre au cours de cette phase du travail des chercheurs, s'achève par la prise en compte des modalités de lecture d'un type d'images que l'on retrouve dans beaucoup de disciplines scientifiques et qui sont à ce titre très importantes : les tableaux et les graphiques. Jean-Marie Klinkenberg examine la tabularité de la lecture des images, graphiques, tableaux, qui permettent une aperception simul-

tanée, instantanée, des données et des variables qui, présentées verbalement, devraient être rangées le long d'un axe linéaire.

S'il est intéressant d'étudier les modalités de production des images scientifiques au sein des laboratoires et les constructions signifiantes auxquelles elles peuvent donner lieu, il est également indispensable de se pencher sur leur diffusion : les images sont également produites afin de constituer des médiateurs entre les chercheurs et un public de spécialistes ou de profanes. Les images scientifiques sont, tout autant que le texte, des outils de communication et il est bon de s'interroger sur les procédures d'utilisation des images scientifiques à des fins de communication. La deuxième partie du dossier privilégie cet aspect.

Luc Desnoyers souligne que les images scientifiques sont des outils de communication qui ont pris une place grandissante, aussi bien dans les textes publiés que dans les communications orales des scientifiques. Il nous invite à étudier leur diversité, leur spécificité, leur usage concret, leur utilité et leur adéquation à la tâche donnée.

En complément du vaste panorama des images utilisées en situation de communication présenté par Luc Desnoyers, il nous a paru utile d'entrer dans l'intimité d'articles scientifiques particuliers afin d'essayer de cerner les processus de sémiologie qui se jouent autour des images dans l'argumentation d'un article : deux études différentes appartenant à la physique des matériaux sont ainsi proposées.

Martina Merz souligne le fait que, dans les articles scientifiques, une image apparaît rarement seule. En se référant à un article déterminé, elle explore l'interaction entre les éléments visuels et les rôles et fonctions qu'assument ces compositions dans l'ensemble d'un article.

L'étude de Jacques Fontanille porte sur un seul article scientifique et a une visée essentiellement exploratoire : il s'agit de repérer les questions pertinentes, touchant à l'usage des modalités sémiotiques visuelles dans le discours scientifique. L'étude des visuels conduit à proposer une typologie des modes sémiotiques de l'expression, et des rôles stratégiques de chacun d'eux. Elle s'étend ensuite plus longuement sur les associations entre ces modes sémiotiques, à l'intérieur de chaque figure, et entre les figures, pour dégager quelques principes syntagmatiques, et constituer une séquence canonique caractéristique de la stratégie argumentative de l'article.

1. Les articles proposés ont pour point de départ les communications orales et les discussions afférentes qui ont eu lieu lors de journées d'études organisées à l'Université de Strasbourg en France, les 24 et 25 janvier 2008 (« Les images scientifiques : de leur production à leur diffusion »).

ANALYSE DES IMAGES SCIENTIFIQUES PAR LE CONCEPT D'OBSERVATION

VINCENT ISRAËL-JOST

Une partie importante des images produites par les scientifiques le sont aujourd'hui à l'aide d'instruments tels que microscope, télescope, scanner et autres appareils d'imagerie. Ceux-ci s'appuient sur des sources de rayonnement électromagnétique (en imagerie par ondes radio, par rayons X, etc.) ou mécaniques (en échographie) et renseignent le plus souvent sur des phénomènes imperceptibles par les sens non assistés. Le point commun de ces images est qu'elles sont généralement utilisées comme *preuve* de l'existence ou de l'intensité d'un phénomène. Ce rôle de preuve est traditionnellement attaché au concept d'*observation* qui est essentiel dans les sciences empiriques.

Il est courant de caractériser l'observation, dans sa relation à la théorie, par le rôle qu'elle joue à la fois en amont et en aval de celle-ci. En amont, l'observation est la collecte de données sur lesquelles des hypothèses descriptives, classificatoires et, dans une certaine mesure, explicatives peuvent être construites. Il s'agit là de ce que les empiristes logiques ont décrit comme étant le contexte de découverte. En aval, l'observation sert à la mise à l'épreuve des prédictions faites à partir de ces hypothèses, dans un contexte de justification. On peut donc voir l'observation comme une activité qui encadre littéralement la production d'hypothèses théoriques par les scientifiques. Bien que cette vue apparaisse couramment chez les philosophes des sciences, elle rend le concept d'observation inapplicable dans un cadre non théorique tel que celui de la médecine clinique de routine, dans lequel le médecin ne cherche pas à observer tel ou tel organe chez son patient dans le but de construire ou de justifier une théorie. C'est la raison pour laquelle, pour utiliser le concept d'observation dans l'analyse des images scientifiques dans leur plus grande généralité, nous devons utiliser une définition plus large de l'observation qui s'accorde ou non avec des contextes théoriques. Ainsi, le propre de l'observation est, dans tous les cas, d'apporter une connaissance fiable et objective relative au monde extérieur, ce qu'exprime Claude Bernard lorsqu'il définit l'observation comme « la constatation exacte d'un fait à l'aide de moyens d'investigation et d'études appropriées à cette constatation » ([1865] 1966: 40).

L'une des qualités attendues de la collecte des données pour l'observation est qu'elle limite la présence d'éléments susceptibles de dénaturer les faits, ce pourquoi l'on essaie de la réaliser de manière aussi *directe* que possible. Il n'est donc pas surprenant que la perception humaine ait traditionnellement reçu le statut de moyen

privilegié pour l'observation, dans la mesure où tout recours à l'instrumentation induit une étape supplémentaire dans le recueil des données, ces dernières étant alors davantage susceptibles d'être contaminées par des artefacts. Pourtant, face au nombre accru d'images produites avec des instruments qui mettent en jeu un grand nombre d'étapes dans la production des données, mais que les scientifiques utilisent pourtant comme la preuve irréfutable de faits de nature variée – souvent d'ailleurs en utilisant le terme « observation » –, un débat philosophique concernant le statut des données produites par des instruments s'est ouvert, prenant une ampleur particulière au début des années 1980. Ce débat met aux prises les partisans de la position traditionnelle, dans laquelle la perception humaine conserve un statut privilégié, et ceux qui, en redéfinissant le concept d'observation, tentent de donner aux images produites par des instruments un statut équivalent à celui de l'expérience directe, par les sens non assistés. Les deux camps s'accordent cependant à considérer la photographie et les instruments optiques qui ne permettent que d'enregistrer un phénomène déjà visible comme des moyens valides pour l'observation¹. En les utilisant, les scientifiques s'assurent en effet de pouvoir comparer les images obtenues avec leur expérience directe et la fiabilité de ces instruments peut donc aisément être établie. En revanche, les techniques d'imagerie qui produisent des données relatives à des phénomènes non observables par la perception seule ne tolèrent pas cette mise à l'épreuve comparative, et leur fiabilité, si elle doit être démontrée, demande une méthode différente.

L'ambition du présent travail est de discuter de manière *préliminaire* le contenu d'une méthode pour s'assurer de la fiabilité des images produites par les instruments. Ainsi, notre objectif est non pas de répondre ici à la question de la validité des instruments comme moyens pour l'observation mais, en nous penchant sur cette question, d'établir un argument essentiel à la construction d'une réponse. Notre point de départ est le constat que les analyses trouvées chez les philosophes qui se sont exprimés sur cette question se polarisent, quelle que soit leur position, sur les seules propriétés géométriques des

images. C'est ainsi la concordance entre la structure d'une entité (l'objet d'étude) et les formes perçues sur l'image (les « traits » de l'image, les contours qui s'y dessinent) qui, dans la plupart de ces travaux, est l'axe central de la question de la fiabilité. Les notions de forme, de structure, de géométrie, qui dans notre propos peuvent être considérées comme à peu près synonymes, y prennent un poids considérable, traduisant, à notre sens, un appauvrissement relatif à la variété des phénomènes que les scientifiques affirment observer. En mettant l'accent sur les seules propriétés spatiales des entités étudiées avec des instruments, nous verrons que c'est la fiabilité de la détection et de la transmission d'une information qui est essentiellement traitée, c'est-à-dire la question des *moyens* de l'observation ou *comment* l'on observe. En revanche, la question du *contenu* de l'observation ou *ce que* l'on observe est quelque peu délaissée.

Pour établir l'insuffisance de ces analyses, nous identifions, en premier lieu, des facteurs pouvant expliquer leur restriction aux seules propriétés spatiales des entités étudiées par les scientifiques. Nous discutons ensuite les positions du représentant principal de chaque camp du débat mentionné : Bas C. van Fraassen chez les partisans (peu nombreux) d'un concept d'observation fondé exclusivement sur la perception non assistée et Ian Hacking qui, dans sa discussion relative au microscope, défend une certaine forme de réalisme vis-à-vis des entités vues au travers de l'instrument. Pour antagonistes qu'elles soient, nous démontrons que ces positions s'appuient sur une vue similaire de l'observation, limitée aux seules propriétés structurales des entités. Nous concluons sur la nécessité de discuter des propriétés autres que structurales pour trancher le débat sur l'utilisation des instruments pour l'observation, en tenant compte de la grande variété des phénomènes qui font l'objet d'études scientifiques.

L'INTERPRÉTATION GÉOMÉTRIQUE DES IMAGES PRODUITES PAR LES INSTRUMENTS

La tentation de fonder l'interprétation des images scientifiques produites par les instruments sur leurs seules propriétés géométriques trouve principalement sa source dans l'idée couramment répandue

qu'interpréter une image scientifique reviendrait à identifier les entités qui y sont représentées. Quiconque adopte cette position se met alors en devoir d'associer aux formes perçues sur l'image celles connues ou supposées d'entités pour réaliser cette identification. Ainsi, face aux images produites par les techniques d'imagerie contemporaines, le premier réflexe du lecteur non initié consiste à parvenir à identifier une entité à travers la reconnaissance d'une *forme* familière. Sur une image par résonance magnétique (IRM) par exemple, il n'est guère besoin de posséder des connaissances très avancées en anatomie pour déterminer, à la vue des circonvolutions caractéristiques, qu'il s'agit d'une image du cerveau. Il en est de même pour des images astrophysiques dans lesquelles nous interprétons la présence de spirales lumineuses comme des galaxies ou pour des images réalisées au microscope qui montreraient des structures circulaires ayant une frontière très précise: il s'agit sans doute de cellules. Le spécialiste de ces techniques est supposé jouir d'une expertise bien supérieure. Il sait, d'une part, distinguer avec certitude des entités que le profane pourrait confondre (le microbe et la bactérie par exemple) et connaît, par ailleurs, les détails du processus par lequel ces images sont acquises, ce qui lui donne la possibilité de comprendre, notamment, que certains traits ou certaines déformations de l'image sont produits par l'instrument. Enfin, à sa capacité de reconnaître une entité s'ajoute celle d'en distinguer des sous-parties telles que, dans le cas d'images cérébrales, la matière blanche, la matière grise, les ventricules, etc. Il n'en demeure pas moins que les propriétés spatiales de l'image sont effectivement suffisantes dans cette vue pour justifier du rôle des techniques d'imagerie dans l'observation, un rôle dévolu essentiellement aux questions d'existence, de reconnaissance et de localisation d'entités.

L'une des causes possibles de la popularité de cette idée, que nous pouvons relever dans le contexte précis de l'utilisation d'instruments pour l'observation, est l'analogie fréquemment rencontrée entre l'expérience visuelle et celle que l'on a en regardant les images produites par un instrument (ou

en regardant directement à travers un instrument lorsque c'est possible), aussi bien dans les discours des scientifiques que chez les philosophes. Chez ces derniers, une préoccupation majeure est précisément de décider si ces techniques sont aussi fiables que la vision – se demandant, par exemple, si l'on peut «voir» à travers un microscope². Or, la volonté de conserver le vocabulaire propre à la vision présuppose que, s'il faut chercher une différence entre notre expérience perceptive et l'expérience que nous avons en regardant les images produites par des instruments, cette différence ne saurait se situer sur le plan phénoménologique. Autrement dit, nous voyons des phénomènes mettant en jeu des *propriétés* identiques dans les deux cas, et notre attention porte seulement sur des *entités* différentes. Les techniques d'imagerie seraient donc destinées à nous apporter une connaissance relative aux entités qui sont autrement inobservables, c'est-à-dire les entités microscopiques, ou très lointaines ou encore celles qui sont enfouies dans de la matière opaque, mais cette connaissance concernerait toujours des propriétés qui sont accessibles à la vue, celles auxquelles nous accéderions si nous pouvions *voir* ces entités sans instrument.

À travers l'interprétation géométrique des images se dessine ainsi une position qui reconnaît en l'entité l'objet canonique de l'observation. Cette notion d'entité ne possède cependant qu'un certain nombre de propriétés primaires, qui sont toutes essentiellement spatiales: la forme, la position et la taille³. La forme est la propriété essentielle à la reconnaissance d'une entité et permet donc de répondre aux questions d'existence ou de présence dans le champ de vue de l'instrument. La position permet de suivre une entité dans l'espace et joue un rôle important dans l'observation des phénomènes dynamiques puisque connaître la position à des instants différents, c'est connaître le mouvement. Enfin la taille est, parmi ces propriétés fondamentales, celle qui explique le mieux le recours à différents instruments adaptés aux dimensions microscopiques ou macroscopiques des entités. Si ces propriétés sont, comme le conçoivent explicitement ou implicitement nombre de philosophes, les seules dont l'observation

doive rendre compte dans le contexte scientifique, alors le problème de l'utilisation des instruments se résume à la possibilité de connaître, de manière sûre, la relation géométrique qui lie les points du champ de vue de l'instrument à ceux de l'image qu'il produit.

LES INSTRUMENTS DANS L'OBSERVATION CHEZ LES PHILOSOPHES

L'exposé des différents travaux philosophiques ayant soutenu ou rejeté l'utilisation d'instruments pour l'observation serait bien trop long pour trouver sa place ici. Pour la question qui nous intéresse, qui consiste à déterminer si une discussion, limitée aux seules propriétés géométriques des images et des entités auxquelles ces images se rapportent, est suffisante pour rendre compte de l'activité d'observer dans les sciences, il nous suffira d'examiner les positions adoptées par les représentants principaux de chaque camp, généralement reprises sur ce point précis par leurs partisans.

Chez van Fraassen, l'observabilité est définie uniquement pour des entités. Pour lui, une entité est « observable » si elle peut être *directement* observée par la perception non assistée. Une entité peut bien être hors de portée, elle demeure observable dès lors qu'il existe des conditions dans lesquelles elle est accessible à notre perception. Il donne ainsi l'exemple des lunes de Jupiter qui, en dépit de leur distance par rapport à la terre, pourraient être observées à l'œil nu par des astronautes à bord d'un vaisseau spatial et sont, par conséquent, observables dans sa conception du terme. En sus, il accepte les images fournies par un télescope pour l'observation, même si la comparaison avec l'expérience directe n'est pas réalisée, du moment qu'elle est réalisable en principe (Fraassen, 1980:16). En revanche, nous n'avons pas la possibilité de nous rapetisser pour observer des entités microscopiques qui sont donc définitivement reléguées dans la catégorie « inobservable ».

Nous reconnaissons dans cette position deux aspects évoqués plus haut: la comparaison avec la vision à l'œil nu comme critère essentiel visant à établir le statut d'observation des images fournies par un instrument et son corollaire, l'entité munie de ses seules qualités géométriques, posée comme

étant l'objet canonique de l'observation. Ses failles apparaissent donc rapidement dès lors que l'on tente de l'appliquer à des entités pour lesquelles les scientifiques étudient des propriétés non géométriques. C'est le cas en médecine, où l'étude de l'anatomie humaine couvre le savoir lié à la forme, la structure et la localisation des différentes parties du corps, et se distingue en cela de la physiologie qui en étudie les processus normaux. Suivant donc la position de van Fraassen, nous dirions que le cœur, par exemple, est observable parce que nous pouvons non seulement *imaginer* le voir en principe (en incisant la poitrine d'un patient), mais il est parfois vu réellement par des chirurgiens qui procèdent à une opération. L'ayant classé dans la catégorie « observable », nous poursuivons en affirmant que les différents moyens qui s'offrent à nous pour faire des images du cœur, tels que l'échographie, le scanner ou la médecine nucléaire, sont valides ou peuvent être aisément validés pour l'observation de cet organe, de la même manière que van Fraassen accepte que l'on utilise un télescope pour observer les lunes de Jupiter. Pourtant, certaines de ces techniques sont destinées à renseigner sur des propriétés *fonctionnelles* du cœur, comme en médecine nucléaire où la tomographie d'émission monophotonique (TEMP) permet de réaliser une image de la *perfusion myocardique*. On peut raisonnablement penser que van Fraassen réfuterait cette possibilité d'observer la perfusion du cœur par des moyens extrêmement indirects, puisque mettant en jeu l'injection d'un traceur radioactif émetteur de photons gamma, un type de rayonnement que nous ne pouvons pas voir et une lourde phase de calculs réalisés à partir des données pour reconstruire une vue tridimensionnelle du cœur; mais il s'agit pourtant d'une conclusion obtenue à partir de sa propre construction de l'observabilité et de ce qui compte comme un cas d'observation. L'ambiguïté de sa position est, on le voit, générée essentiellement par le fait que l'*entité* (dans sa conception simplifiée, géométrique) y a pris le pas sur le *phénomène* dans le discours sur l'observation.

Opposé à l'anti-réalisme de van Fraassen concernant ce que montrent les images produites par des instruments, Ian Hacking s'est concentré sur

le microscope qui, affirme-t-il, produit des données aussi fiables que celles qui sont collectées durant le processus de la vision, dès lors que l'instrument et l'œil sont utilisés dans des conditions de lumière et d'échelle appropriées. Le premier élément en faveur de cette thèse est le fait que les images sont produites par le microscope à travers une série d'événements physiques, conduisant dans la majorité des cas à une « bonne carte » de la réalité, c'est-à-dire à une image sur laquelle l'agencement spatial des différentes structures d'un objet est correctement reproduit (Hacking, [1981] 2004: 272).

Cependant, cette condition n'est pas suffisante pour garantir l'obtention d'une bonne carte dans tous les cas. Les instruments sont des sources d'artefacts et induisent des erreurs, des distorsions, des éléments ajoutés sur l'image qui doivent être distingués de ceux correspondant à l'objet étudié, ce pour quoi Hacking propose deux moyens de vérifier l'instrument. Le premier est d'expérimenter, en passant sous microscope, un objet qui a été spécialement conçu pour cette vérification. L'exemple qu'il donne est celui d'une micro-grille, dont la structure est parfaitement connue à l'avance et peut être retrouvée au microscope (*ibid.*: 264). Puisque le microscope produit une image dans laquelle la structure de la micro-grille est correctement reproduite, on peut légitimement inférer que le même instrument possède la propriété de produire une bonne carte, indépendamment de l'objet étudié. Mais, de cet exemple, il ressort aussi que la discussion est limitée aux propriétés géométriques. Seule la conservation de la forme est vérifiée, tandis que les autres propriétés pouvant être associées aux entités ne sont pas mentionnées.

La deuxième possibilité que décrit Hacking repose sur l'utilisation de plusieurs microscopes fonctionnant sur des principes physiques différents, pour vérifier que, dans tous les cas, une image présentant la même *structure* est obtenue lorsque le même objet est étudié (la même micro-grille par exemple). Si effectivement la même structure est retrouvée chaque fois, il ne pourrait s'agir d'une coïncidence puisque les processus physiques différents qui sont associés à ces divers instruments ne pourraient conduire au même artefact qu'avec une chance infime

(*ibid.*: 264-265). L'argument est encore une fois recevable, mais toujours limité aux seules propriétés géométriques. Pire, alors que Hacking reconnaît l'existence d'une grande variété d'instruments basés sur des fonctionnements distincts, et qui détectent des propriétés différentes de la matière, insiste-t-il lui-même, il réduit les capacités exploratoires de ces instruments à leur facteur commun: la représentation de la structure.

Cette limitation chez Hacking est certes consciente puisque, en ce qui concerne le microscope, il se prétend d'un réalisme scientifique concernant les structures des entités et rien de plus. Il est également vrai que la microscopie demeure une technique essentiellement morphologique, destinée à apporter une connaissance relative aux structures, en biologie cellulaire. Néanmoins, parmi les philosophes qui ont repris l'argumentaire de Hacking pour l'adapter à d'autres techniques, peu se sont résolus à introduire d'autres propriétés, et la discussion du réalisme scientifique portant au-delà des seules propriétés structurales n'a guère avancé depuis.

Paul Humphreys a reconnu cette même limitation et s'est demandé s'il n'y aurait pas des entités *à la fois* observables et inobservables (2004: 23)⁴, c'est-à-dire observables sous certains aspects mais pas sous d'autres. Cela le conduit à renoncer à penser l'observation comme s'appliquant à des entités, pour lesquelles les questions se limiteraient à l'existence et à la localisation, préférant se référer aux *propriétés*:

Des différends existent à propos de la réalité d'objets ou de types d'objets: est-ce que les prions existent? Y a-t-il une planète au-delà de Neptune? Quelle preuve y avait-il à la fin du XIX^e siècle en faveur de l'existence des atomes? Est-ce que les émotions existent séparément de leurs états mentaux associés? et ainsi de suite. Ces exemples peuvent être trompeurs, car les considérations sur le réalisme concernent également l'existence de propriétés. Comment savons-nous que le spin quantique existe? Y a-t-il une propriété telle que l'aliénation dans la société? Est-ce que la liaison covalente est une propriété purement chimique? [...] L'ensemble du débat sur les observables a été biaisé par une attention excessive portée sur la taille et les distances relatives comme mesures de substitution du degré de difficulté à observer des objets.

(*Ibid.*: 23; notre traduction)⁵

Mais les préoccupations des scientifiques concernant les *propriétés* de natures diverses ne sont pas la seule raison pour laquelle il serait plus adéquat, selon Humphreys, d'en faire l'objet de l'observation. L'utilisation même d'instruments impose que l'on détecte des propriétés (chaleur, radioactivité, luminosité, etc.) et non des entités puisque nous n'avons pas de détecteurs de planètes, de cerveau ou de mitochondries. Il donne ainsi l'image d'une exploration progressive des entités, qui dépend du développement de nouveaux instruments :

Le processus de découverte concernant des objets consiste en des types spécialisés d'instruments détectant une ou plusieurs propriétés qui constituent ce que nous considérons être cet objet avec, par conséquent, la possibilité de détecter de plus en plus de propriétés composant cette entité à mesure que de nouvelles techniques apparaissent.

(Ibid. : 25 ; notre traduction)⁶

Dans cette vue, une image produite par un instrument représente la propriété physique qu'il détecte, telle qu'elle est distribuée sur son champ de vue. Nous appelons une telle représentation d'une unique propriété une carte de cette propriété. La multiplication des instruments s'explique par la possibilité qu'ils offrent de produire des cartes de propriétés physiques différentes, qui sont bien entendu spatialement corrélées. Cette corrélation est l'élément qui permettait à Ian Hacking de s'assurer que la structure géométrique d'une entité est bien retrouvée indépendamment par des instruments basés sur des principes différents. Cependant, la corrélation se distingue de l'identité et Humphreys tient compte de cela en invoquant la nature variée de l'information portée par des images qui n'ont pas été produites avec le même type d'instrument. Toutes ces cartes sont donc superposables, tout en pouvant se différencier de façon extrêmement marquée, comme pourraient l'être des cartes du monde présentant des informations politiques, géographiques, économiques, etc.

DE LA VARIÉTÉ INSTRUMENTALE À LA VARIÉTÉ PHÉNOMÉNALE

Un bénéfice important de la position de Paul Humphreys est qu'elle permet d'expliquer la variété

des techniques instrumentales qui sont développées par l'intérêt qu'elles présentent pour explorer des propriétés nouvelles. Aux propriétés spatiales des entités, il ajoute ainsi tout un faisceau de propriétés physiques mesurables auxquelles sont associées autant d'instruments. Pourtant, en dépit de ce progrès, cette position ne donne encore qu'une vue partielle de l'observation, puisque les scientifiques ne limitent pas leurs investigations aux seules propriétés physiques, mesurables par un détecteur. L'un des aspects frappants des techniques d'imagerie actuelles est précisément que, par leur intermédiaire, les scientifiques affirment avoir une connaissance relative à des propriétés qui sont propres à un domaine scientifique particulier, par exemple les propriétés biologiques, physiologiques, cognitives, etc.

Donc, si Humphreys a doublement raison, d'une part de souligner qu'il est plus adéquat, pour rendre compte des objectifs des scientifiques, de parler d'observation en termes de propriétés plutôt que d'entités, d'autre part de rappeler que nos instruments détectent des propriétés et non des entités, il faudrait néanmoins procéder à une distinction entre les propriétés *détectées*, qui sont toujours des propriétés physiques que nous pouvons qualifier de « bas niveau »⁷, et les propriétés (prétendument) *observées*. Ces dernières sont parfois identiques aux premières, lorsque les scientifiques sont directement intéressés par une propriété physique, comme la luminosité d'un astre, mais, dans beaucoup d'autres situations, une image présentant une carte de propriété physique est interprétée comme se référant à une propriété de plus haut niveau, propre à un domaine scientifique particulier.

Pour illustrer cette distinction entre propriétés de bas niveau et de haut niveau, nous pouvons revenir sur l'exemple de l'imagerie TEMP, qui repose sur l'administration d'un *traceur radioactif* ou *radiotracteur*, c'est-à-dire une molécule qui s'inscrit dans un métabolisme particulier de l'organisme, et sur laquelle est fixé un atome radioactif. Lors d'un examen cardiaque, après injection du radiotracteur par voie veineuse, celui-ci suit le flux sanguin, et la diminution ou l'absence de sa fixation sur la paroi myocardique sont révélatrices de problèmes

coronariens qui correspondent respectivement à une ischémie (artère partiellement obstruée) ou à une nécrose (obstruction totale). L'image obtenue est formée à partir du rayonnement gamma émis par l'atome radioactif qui est fixé sur le radiotracer et peut donc être interprétée comme une carte de la *radioactivité* présente dans l'organisme après injection du radiotracer. Il s'agit là de la propriété physique (bas niveau) que l'on détecte, à l'aide d'une *gamma-caméra*. Pourtant, bien que les médecins qui utilisent ces images pour leur diagnostic soient conscients que la lecture de l'image comme « carte de la radioactivité » est possible, ils préfèrent généralement parler d'une image de *perfusion myocardique*, car c'est là le phénomène qu'ils cherchent à observer. Il s'agit dans les deux cas de propriétés, mais d'ordre différent, physique dans un cas et physiologique dans l'autre. On note également que l'entité qui est explorée n'apparaît dans cette description de l'image que dans une forme adjectivale, qui indique à quel organe la propriété de perfusion se réfère. Cette forme indique le caractère secondaire de la notion d'entité dans ce type d'exploration dans lequel l'existence, la localisation et la forme sont des questions dont la réponse est déjà supposée connue.

Il ressort de cette analyse qu'il serait saugrenu de se prononcer sur le statut d'observation d'une image scientifique de manière absolue, c'est-à-dire indépendamment d'un contexte qui donne les objectifs de la démarche. Une image d'IRM cérébrale fonctionnelle pourrait ainsi permettre de s'assurer de la *présence* d'un cerveau dans une boîte crânienne, comptant à ce titre comme une « observation » du cerveau acceptée par l'ensemble de la communauté scientifique. En revanche, si cette même image est produite dans l'idée d'établir, par exemple, quelle est « la région des émotions » dans le cerveau, son statut d'observation devient beaucoup plus difficile à déterminer. Une construction explicative plus élaborée est alors nécessaire pour justifier du statut d'observation de ce que nous pouvons appeler les *propriétés de haut niveau*, par rapport aux *propriétés de bas niveau*, c'est-à-dire la propriété physique détectée et les propriétés spatiales. Il faudrait donc rendre compte de la manière dont ces propriétés de haut niveau

peuvent être observées à partir des propriétés de bas niveau.

Il est clair que, dans ce projet, une explication relative aux propriétés de bas niveau est nécessaire en premier lieu et que celle-ci repose sur la fiabilité de l'instrument. Il serait par exemple difficile d'affirmer que l'on observe la « région des émotions » dans le cerveau avant de nous être assurés que l'instrument que nous utilisons délivre une *bonne carte* du cerveau, avec un agencement correct des différentes structures visibles. Cela montre en quoi les analyses de Hacking et de Humphreys étaient sur la bonne voie, en offrant au moins une condition nécessaire pour qu'une image puisse servir à l'observation. L'analyse doit cependant être poursuivie pour établir un lien entre les propriétés de bas niveau et celles de haut niveau. Dans la mesure où ces dernières sont spécifiques à des domaines de la science très divers, nous ne saurions rendre ici notre analyse générale, mais pouvons illustrer la forme qu'elle prend dans deux cas particuliers et en tirer quelques enseignements.

Dans le premier, nous poursuivons sur l'observation de la perfusion du myocarde (propriété physiologique, de haut niveau) à partir d'une carte de la radioactivité présente dans le système sanguin, notamment au niveau du cœur. La raison pour laquelle les médecins ont de bonnes raisons de croire, face à cette image de TEMP, qu'ils observent la perfusion myocardique est que la substance radioactive qui a été injectée, généralement du thallium 201, a la particularité d'être transportée par le sang jusqu'aux cellules du myocarde sur lesquelles elle se fixe. Or, si celui-ci n'est pas correctement irrigué, en raison de problèmes artériels, la concentration de thallium sur la paroi est moindre, dans le cas d'une hypoperfusion du myocarde, jusqu'à être inexistante dans le cas d'une nécrose sévère. C'est donc l'affinité du thallium 201 avec les fibres musculaires, connue empiriquement, qui est à la base de l'explication. D'autres contraintes doivent être prises en compte, telle la quantité de radiotracer administrée qui doit être suffisamment petite pour ne pas perturber le phénomène en cours d'observation, ou le fait que la molécule utilisée puisse être facilement évacuée de l'organisme dans les heures

qui suivent. Ce sont donc des arguments de nature essentiellement empirique qui sont employés ici à la justification qu'il existe une dépendance directe entre le rayonnement détecté dans le tissu musculaire et la perfusion de ce tissu.

Pour notre deuxième exemple, nous nous tournons vers le cas longuement décrit et analysé par le philosophe Dudley Shapere (1982) concernant l'observation du noyau solaire par la détection de neutrinos produits par celui-ci. De longs développements sont destinés dans cet article à établir qu'une bonne carte de l'émission de neutrinos est obtenue par un détecteur approprié, mais nous nous intéressons particulièrement ici à la propriété de haut niveau que les astrophysiciens prétendent observer, à savoir la production d'énergie dans le noyau solaire, à partir de cette carte d'une propriété de bas niveau : l'émission des neutrinos dans ce même noyau solaire. D'après lui, « les physiciens et astronomes ont développé une théorie qui, sur la base de nombreuses et diverses considérations, semble très bien rendre compte de la production d'énergie dans les étoiles » (*ibid.* : 493 ; notre traduction)⁸. Puisque cette théorie relie le taux d'émission de neutrinos (propriété de bas niveau) à la production d'énergie (propriété de haut niveau) à travers une loi quantitative, les physiciens et astronomes peuvent déduire de manière fiable la quantité d'énergie produite dans le noyau solaire à partir du nombre de neutrinos ayant été détectés. Il faut noter aussi l'indépendance entre ce que Shapere appelle la « théorie de la source » (cette loi quantitative), qui est la meilleure connaissance disponible concernant le mode de production des neutrinos dans le noyau solaire – et tisse le lien entre propriétés de bas et de haut niveau –, et les théories de la transmission et de la détection, qui décrivent le chemin des neutrinos dans l'espace et leur détection par un instrument, sans se préoccuper des conditions de leur production. Nous retenons que, dans cet exemple, contrairement au précédent, la dépendance des propriétés de bas et de haut niveau est justifiée de manière théorique.

Ces exemples démontrent que, pour rendre compte de manière générale des situations dans lesquelles les scientifiques affirment observer des

phénomènes, il serait sans doute judicieux d'examiner deux aspects du problème. Le premier est le rôle que joue l'*explication* dans l'observation, rôle que les philosophes ont eu tendance à évincer pour mettre en avant l'*immédiateté* de l'expérience dans l'observation. On conçoit bien qu'un concept d'observation, dans lequel l'explication est nécessaire, induit une confusion dans la distinction traditionnelle entre théorie et observation. Pourtant, si nous voyons déjà dans la complexité croissante des systèmes d'imagerie de sérieuses raisons pour devoir fournir une explication relative à la transmission et à la détection d'une information dans le cas où un instrument est utilisé, une explication apparaît indispensable, que l'on utilise ou non un instrument, dès lors que c'est une propriété de haut niveau que l'on cherche à observer. Dans ce cas, en effet, il faut justifier la dépendance entre cette propriété et les propriétés de bas niveau, c'est-à-dire celles que l'on observe directement à partir des données acquises. Par suite, si l'on accepte que l'*explication* joue un rôle dans l'observation, un deuxième aspect du problème est de rendre compte de la *diversité* des propriétés que les scientifiques tentent d'observer. Dans une tâche d'une telle ampleur – puisque ces propriétés sont, on l'a vu, propres à chaque domaine scientifique –, une taxonomie de l'explication scientifique sera sans doute bien utile pour décider quand une justification est acceptable concernant la dépendance de propriétés de bas et de haut niveau. Nous n'allons cependant pas plus loin sur ces questions, que nous ne soulevons ici qu'à titre programmatique, et tirons maintenant les conclusions de ce travail.

Nous avons tenté de mieux rendre compte du contenu des images scientifiques produites avec des instruments, en nous appuyant sur le concept d'observation. Ce choix était motivé, nous l'avons dit, par l'utilisation qui est faite de ces images comme preuves concernant des phénomènes et par l'emploi fréquent du terme « observation » par les scientifiques qui produisent ces images. Notre critique des positions philosophiques sur le sujet n'a finalement constitué qu'un détour pour revenir à notre point de départ, c'est-à-dire la définition de l'observation

de Claude Bernard («la constatation exacte d'un fait à l'aide de moyens d'investigation et d'études appropriées à cette constatation»), en précisant à quoi les *faits* dont il parle peuvent se rapporter. La recommandation de Claude Bernard, «de prendre toujours pour point de départ d'une expérimentation ou d'un raisonnement un fait précis ou une bonne observation, et non un mot vague» (1966: 285), méritait à notre sens d'être appliquée à l'observation elle-même et, à travers ce concept, à la lecture des images scientifiques produites par des instruments. Lire une image, concluons-nous, c'est non pas identifier une entité par la reconnaissance de quelque forme particulière, mais plutôt se donner un contexte d'investigation mettant en jeu une propriété ou un phénomène précis, et décider si l'image apporte des éléments dans la connaissance de ces phénomènes.

NOTES

1. Il s'agit là des cas d'observation à travers une loupe, des jumelles, des lunettes, etc., qui sont en quelque sorte des instruments «de confort», permettant de voir avec moins d'effort ce que nous verrions autrement en nous penchant plus près d'un document pour le déchiffrer ou en nous rapprochant d'un objet lointain.
2. L'article de Ian Hacking, auquel nous nous référons ici, s'intitule «Do we see through a microscope?» et a été traduit en français sous le titre «Est-ce qu'on voit à travers un microscope?». Dans le registre littéraire, on peut également mentionner *La Montagne magique* de Thomas Mann, œuvre dans laquelle il est fait référence aux radiographies comme étant des «photographies intérieures».
3. Ces propriétés en nombre très limité sont réminiscentes à l'échelle macroscopique de celles autorisées par la «nouvelle science» au XVII^e siècle, pour combattre une certaine dérive tautologique héritée des traditions scolastique et aristotélicienne. Plutôt que d'expliquer l'effet

apaisant de l'opium par sa «vertu dormitive», les scientifiques de l'époque préféraient trouver une explication faisant intervenir les seules propriétés de taille, forme, position et mouvement des corpuscules élémentaires de matière. Ainsi l'effet apaisant de l'opium pourra-t-il s'expliquer par la forme ronde de ses particules, qui tranquillise le nerf en roulant sur lui (voir, par exemple, T. Kuhn [1970: 148-149]).

4. «What are the entities on either side of the divide between the observable and the unobservable?».

5. «Disputes about what is real frequently turn on objects or kinds of objects: Do prisons or cartels really exist? Is there a planet beyond Neptune? What evidence was there in the late nineteenth century for the existence of atoms? Do emotions exist separately from their associated brain states? And so on. Stock examples can be misleading, for issues in realism also concern existence of properties: how do we know that quantum spin exists? Is there such a property as alienation in society? Is covalent bonding a specifically chemical property? [...] The entire debate on observables has been biased by an excessive focus on size and relative distance as surrogate measures for the degree of difficulty of observing objects».

6. «The discovery process for «objects» consists in specialized kinds of instruments detecting one or more of the properties that constitute what we consider to be that object with, subsequently, more and more properties constituting that entity being detected through further instrumental techniques».

7. À partir de ces propriétés physiques détectées, nous avons une connaissance directe des propriétés spatiales de l'objet étudié, en identifiant des formes dessinées par les variations de ces propriétés physiques sur l'image. Nous comptons donc également les propriétés spatiales comme étant des propriétés de bas niveau.

8. «Physicists and astronomers have developed a theory which, on the basis of a great many diverse considerations, appears to give an excellent account of the production of energy by stars».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERNARD, C. [(1865) 1966]: *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, Garnier-Flammarion.
- FRAASSEN, B.C. van [1980]: *The Scientific image*, New York, Oxford University Press.
- HACKING, I. [(1981) 2004]: *Philosophie des sciences, naturalismes et réalismes*, tome II, Paris, Vrin, 238-274.
- HUMPHREYS, P. [2004]: *Extending Ourselves, Computational Science, Empiricism and Scientific Method*, New York, Oxford University Press.
- KUHN, T.S. [(1970) 1983]: *La Structure des révolutions scientifiques*, trad. de L. Meyer, Paris, Flammarion.
- SHAPER, D. [1982]: «The concept of observation in science and philosophy», *Philosophy of Science*, n° 49, 485-525.

L'APPORT D'UNE PERSPECTIVE GÉNÉTIQUE À L'ANALYSE DES IMAGES SCIENTIFIQUES

CATHERINE ALLAMEL-RAFFIN

INTRODUCTION

De nombreux auteurs ont souligné, depuis plusieurs décennies, le rôle capital joué par les images au sein des procédures de production et de justification des résultats scientifiques (Jacobi, 1985; Bastide, 1985; Latour, 1985, 1988, 1993; Giere, 1996). Après avoir établi un tel constat global, il me semble qu'il faut encore se doter des moyens de cerner les différents statuts épistémiques qu'acquièrent ces images au cours des processus de recherche observationnels et expérimentaux. En effet, une fréquentation régulière des laboratoires scientifiques en tant qu'ethnographe¹ m'a convaincue que, par delà la reconnaissance du caractère essentiel des images dans la pratique scientifique contemporaine, il conviendrait de mettre l'accent sur le fait qu'elles ne semblent pas toutes avoir le même statut, ni remplir les mêmes fonctions: le chercheur ne situe pas toutes les images, celles qu'il exploite au quotidien ou celles qu'il trouve contenues dans une publication, sur un même plan. Il évalue une image donnée en fonction non seulement de ses qualités intrinsèques, mais également de son *histoire*, chaque fois singulière. Ainsi, les images figurant dans un article scientifique possèdent des statuts variés en termes de qualité et de fiabilité et, par conséquent, des significations distinctes aux yeux du chercheur, parce qu'elles sont produites de multiples manières, avec des visées hétérogènes, et qu'elles posent des problèmes spécifiques quant à leur pertinence.

Il en résulte que, si l'on aspire en tant que sémioticien, philosophe ou sociologue à comprendre les processus de signification relatifs aux images scientifiques, il s'avère indispensable de se pencher sur leurs contextes de *production* et de *réception*². L'appéhension par le chercheur d'une image donnée et le sens qu'il lui confère sont hautement conditionnés par les informations dont il dispose relativement à ces deux contextes. Dans le cadre de cet article, j'étudierai principalement le contexte de production en adoptant une *perspective génétique* correspondant à la question: «comment les images sont-elles produites?». Je souhaite ainsi affirmer l'importance pour toutes sortes d'études (sémiotiques, philosophiques, sociologiques, historiques, etc.) de cette perspective qui se révèle non pas concurrente, mais plutôt complémentaire d'autres approches.

Je me propose donc, dans un premier temps, d'esquisser les principaux éléments d'une typologie des images scientifiques résultant de l'adoption d'une telle perspective génétique en prenant d'abord pour discipline de référence la physique des matériaux,

puis la pharmacologie. Ce passage d'une discipline à l'autre s'avère très fécond, puisqu'il m'a amenée à compléter ma typologie initiale³.

Cette typologie me permet de disposer d'une grille de lecture transcendant les frontières disciplinaires. Cela dit, son établissement même m'a amenée à constater que les processus de production et d'exploitation des images présentent à la fois des similitudes et des différences entre physique des matériaux et pharmacologie et influencent, comme nous le verrons dans un troisième temps, non seulement la forme finale des images, mais également la fonction épistémique qu'elles se voient conférer au sein de chaque discipline.

1. LES LABORATOIRES ÉTUDIÉS

Mon terrain d'étude en physique des matériaux est le laboratoire «Groupe Surfaces/Interfaces» (GSI)⁴ de Strasbourg, au sein duquel sont menées des recherches essentiellement expérimentales portant sur les structures et les propriétés des surfaces de matériaux (en général, des métaux). Ce laboratoire dispose d'un parc instrumental important qui comprend un certain nombre de microscopes : le microscope électronique à transmission (ou MET), le microscope électronique à balayage (ou MEB), le microscope à force atomique (ou AFM), le microscope à effet tunnel (ou STM). Il s'agit de microscopes basés sur des rayonnements électromagnétiques ou sur d'autres effets, comme l'effet tunnel dans le cas du STM : la vision naturelle est abandonnée⁵. Les échantillons sont en général des dépôts métalliques sur des substrats métalliques, d'une taille millimétrique (par exemple un dépôt de cobalt sur un substrat d'or).

Mon second terrain d'étude, en pharmacologie cette fois, est constitué par le laboratoire «Inflammation et environnement dans l'asthme» (IEA)⁶. Ce laboratoire travaille sur les processus inflammatoires mis en jeu dans l'asthme, mais également sur d'autres processus inflammatoires, comme la broncho-pneumopathie chronique obstructive, la transplantation pulmonaire, le rejet de greffe, etc. À cela s'adjoint une recherche relative à la toxicité pulmonaire de certaines substances, comme la toxicité éventuelle des nanoparticules. Le travail

mené vise à expliquer les processus inflammatoires au niveau biomoléculaire et à évaluer l'activité de certaines substances afin de voir si elles ont un effet positif ou négatif sur les types d'inflammation étudiés. Ce travail est réalisé *in vivo* sur des souris, souvent génétiquement modifiées, ou *in vitro* sur des cellules de souris ou d'être humain. Les instruments utilisés sont le microscope optique, le microscope confocal et le microscope électronique à transmission. On peut ajouter à cette liste tous les instruments permettant la mise en œuvre de techniques particulières – par exemple le *Western Blot*, technique qui permet de détecter la présence d'une protéine dans un homogénat tissulaire ou cellulaire, d'évaluer sa taille et d'apprécier semi-quantitativement son expression et les variations de cette expression entre deux échantillons traités par des substances différentes. Cette technique mobilise des instruments tels qu'un matériel pour réaliser des électrophorèses et le transfert sur membrane des protéines, un générateur de courant électrique, un matériel de développement de films photographiques, etc.

2. COMMENT CLASSER LES IMAGES PRODUITES EN PHYSIQUE DES MATÉRIAUX?

En adoptant une perspective génétique, il me semble qu'on peut distinguer trois types au sein de la profusion des images produites en physique des matériaux. J'ai choisi de les désigner à l'aide des expressions suivantes : «images sources», «images retraitées» et «images de synthèse»⁷.

2.1 *Les images sources*

Les images sources sont celles que les physiciens des matériaux obtiennent en utilisant leurs microscopes. Ces images se caractérisent par le fait d'être *premières dans l'ordre chronologique de production*⁸. Les processus qui permettent d'obtenir de telles images sont extrêmement complexes. Cela se révèle d'autant plus vrai que les microscopes utilisés en physique des matériaux combinent l'apport d'informations, sous forme de traces laissées par le référent visé, avec des opérations de calcul menées d'emblée sur ces informations à l'aide d'ordinateurs. L'emploi des microscopes aboutit donc à la réalisation

d'images que j'ai qualifiées ailleurs de « mixtes » : à la fois indiciaires et symboliques (Allamel-Raffin, 20004a, 2004b, 2006). Le statut épistémique particulier des images sources aux yeux des chercheurs est perceptible notamment au travers de l'attitude qu'ils adoptent à leur égard. Ils estiment nécessaire de conserver celles qu'ils réalisent afin de pouvoir se livrer à une réinterprétation éventuelle. Ces images sources sont donc considérées comme précieuses par les scientifiques, car, en vertu de leur caractère indiciaire, elles constituent les seuls points de contact qui leur permettent d'étudier des aspects du réel inaccessibles à nos sens. La figure 1 ci-dessous consiste en une image source réalisée avec un microscope à effet tunnel; elle représente des agrégats de nickel sur un substrat de cuivre.

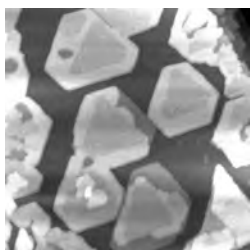


Figure 1. Image STM d'agrégats de nickel sur cuivre. C. Boeglin/GSI⁹

2.2 Les images retraitées

À partir des images sources réalisées avec des microscopes, les physiciens des matériaux en produisent d'autres : les images retraitées. La caractéristique essentielle de ce que j'appelle « image retraitée » est donc *d'être une image réalisée à partir d'une autre image*¹⁰. Elle peut revêtir diverses formes : courbes, images filtrées, etc. L'image retraitée est la plupart du temps créée afin d'obtenir des informations plus précises que celles qui figurent sur l'image source. La figure 2 consiste en une image source réalisée avec un microscope à force atomique. Elle représente la topographie d'un film d'aluminium oxydé par technique plasma. L'image retraitée, quant à elle, est constituée par la courbe figurant sous l'image source. Cette courbe correspond au relief observé le long de la ligne virtuelle noire tracée en diagonale sur l'image source. Ce profil topographique est de ce fait beaucoup plus précis sur un plan quantitatif que ne l'est l'image source.

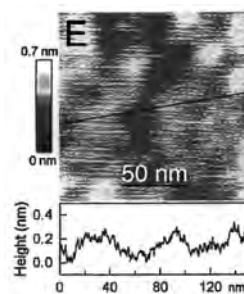


Figure 2

Image retraitée. Image AFM représentant la topographie d'un film d'aluminium oxydé par technique plasma. J.-C. Arnault/GSI

Comme traitements d'images les plus courants, on trouve l'élimination du bruit ou des artefacts¹¹ et l'amélioration des qualités sensibles des images sources. Plusieurs techniques sont envisageables pour mener à bien cette opération : le filtrage, l'usage de fausses couleurs, la soustraction ou l'amélioration de contraste. Il existe également des traitements d'images qui permettent d'extraire des informations très précises, comme c'est le cas avec la courbe de la figure 2¹².

Le traitement des images sources s'opère à l'aide de programmes informatiques. Certains de ces programmes n'entraînent pas de problème particulier, comme celui qui permet d'obtenir la courbe ci-dessus, mais d'autres requièrent des mois de travail pour être mis au point. Soulignons que, dès que les modèles logicomathématiques interviennent dans l'élaboration d'une image, des risques d'artefacts spécifiques apparaissent : on peut perdre des informations, en ajouter, les déformer abusivement. Cette phase de retraitement est par conséquent potentiellement problématique.

2.3 Les images de synthèse

Elles sont produites exclusivement à l'aide de programmes informatiques. On peut distinguer deux types d'images de synthèse : les images de modélisation et les images de simulation.

L'image de simulation est le résultat d'un processus destiné à reproduire numériquement et à générer de façon figurative des situations, des séquences, des mécanismes identiques aux processus réels. Dans le cadre du GSI, les images de simulation visent

à reproduire sous forme visuelle une expérience virtuelle, en prenant en compte un grand nombre de facteurs expérimentaux. Ces images sont comparées aux images sources qui sont souvent de moins bonne qualité, parce que les conditions expérimentales sont très difficiles à maîtriser. Ces images de simulation servent ainsi de « renfort épistémique » par rapport aux images sources produites par ailleurs. Si un chercheur est capable de produire une bonne image de simulation, on estime qu'il a su décrypter tous les aspects, à la fois théoriques et expérimentaux, qui interviennent dans la production d'une image source donnée.

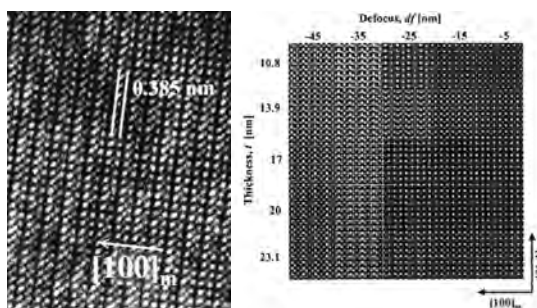


Figure 3

À gauche : image source d'un échantillon de perovskite réalisée avec un MET. C. Ghica/GSI. À droite : des images simulées d'un échantillon de perovskite. Les petits carrés correspondent à différentes épaisseurs de perovskite. Ces images simulées sont comparées à l'image source.

L'image de modélisation consiste à ne retenir, pour sa réalisation, que les théories validées à propos d'un objet d'étude donné, à l'exclusion des facteurs expérimentaux. Elle est, de ce fait, beaucoup plus schématique et ne vise pas une ressemblance trait pour trait avec des images sources. L'image de modélisation permet de mieux comprendre, sur un plan théorique, les phénomènes observés grâce aux images sources et retraitées. Voici une image (fig. 4) de modélisation d'atomes de cobalt sur un substrat d'or.

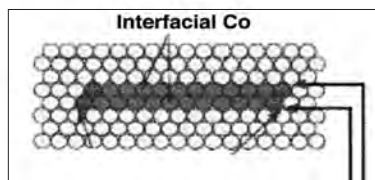


Figure 4

Image de modélisation d'atomes de cobalt sur or. F. Scheurer/GSI

Cette première classification – images sources, images retraitées, images de synthèse –, résultant d'observations ethnographiques menées dans un laboratoire de physique des matériaux, est-elle pertinente lorsqu'on aborde les images produites dans un laboratoire de pharmacologie ?

3. QUELS SONT LES TYPES D'IMAGES PRODUITES EN PHARMACOLOGIE ?

3.1 Les images sources en pharmacologie

On peut inclure dans cette rubrique toutes les images réalisées en microscopie ou, par exemple, celles qui sont produites à l'issue d'un Western Blot. Ci-dessous, en guise d'illustration, une image source, obtenue avec un microscope optique, de cellules d'épithélium bronchique cultivées en présence de nanoparticules. Il s'agit de voir si ces nanoparticules ont un effet létal sur les cellules humaines.

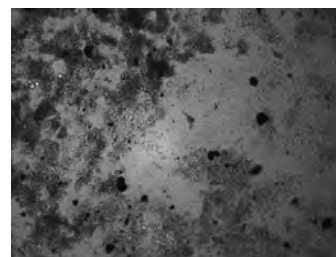


Figure 5. Image source de microscopie optique de cellules pulmonaires cultivées en présence de nanoparticules. F. Pons/IEA. Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

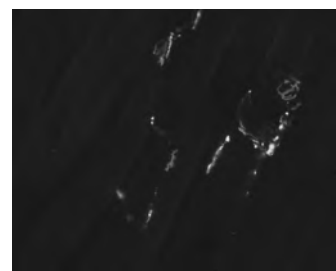


Figure 6. Image retraitée en microscopie confocale représentant une jonction neuromusculaire. C. Le Halle/IEA. Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

3.2 Les images retraitées en pharmacologie

Les traitements d'images revêtent diverses formes en pharmacologie. Le traitement, par le biais des programmes informatiques permettant d'extraire directement de l'image source des informations

précises ou de les mettre en valeur, est utilisé dans le cadre des activités quotidiennes, tout comme en physique des matériaux. On trouve par exemple l'usage des fausses couleurs, en microscopie confocale, nécessaire pour mettre en évidence une superposition de marquages, permettant la démonstration absolue d'une co-localisation d'un phénomène (voir fig. 6).

Le traitement du bruit et des artéfacts, parfois si laborieux en physique des matériaux, et qui se traduit par le recours à de multiples traitements informatiques destinés à les éliminer, est ici en général intégré directement au logiciel permettant de traiter les données produites par un instrument. Prenons en guise d'exemple le pléthysmographe qui permet, en enregistrant des variations de pression, de mesurer des volumes gazeux pulmonaires des souris *in vivo*. Le résultat est enregistré sous forme de courbes (variations de pression en fonction du temps). Si la souris bouge, la courbe enregistrera un pic « hors norme » dû au mouvement de l'animal. Le logiciel qui convertit les données sources en courbes est capable de détecter ce type d'artefact et d'en éliminer automatiquement les occurrences. Les images, retraitées à l'aide de programmes informatiques en pharmacologie, nécessitent souvent en parallèle le recours à une médiation humaine pour réaliser leur traitement. Prenons l'exemple d'un comptage de cellules sur une image produite par microscopie optique. Les pharmacologues préfèrent déterminer eux-mêmes les zones où sont localisées les cellules qu'il faudra prendre en compte et celles qui devront être écartées. Un chercheur peut en effet juger, grâce à son regard éduqué et en se remémorant les étapes du processus de préparation des échantillons, quels sont les éléments pertinents sur l'image de microscopie, et ce, même lorsque ces éléments se présentent de manière quelque peu inhabituelle ou inappropriée (par exemple, une cellule écrasée par le processus de préparation), ce qu'un logiciel est incapable de faire. Ce comptage peut alors se traduire sous la forme d'instructions données à un logiciel par le chercheur, qui a décidé des zones déterminées sur lesquelles il est pertinent de réaliser automatiquement la tâche. Sans ces instructions, le logiciel n'offrirait pas la même efficacité.

3.3 Les images de synthèse en pharmacologie

Il n'existe pas, à ma connaissance, d'images de synthèse (de simulation ou de modélisation) dans ce laboratoire, au sens défini plus haut. Rappelons que ces types d'images visent bien à reproduire, parfois très précisément, des phénomènes expérimentaux, au point qu'une image de simulation, produite en physique des matériaux par exemple, est pratiquement identique à celle produite au cours d'une expérience réelle menée avec un microscope.

Ces images de synthèse en physique des matériaux ont pour objectif bien souvent de contourner le fait que l'expérimentation constitue une phase extrêmement problématique, et permettent de créer numériquement une vice-expérience exempte de tous les aléas expérimentaux.

Pourquoi, dans le type de laboratoire de pharmacologie au sein duquel j'ai séjourné, ne trouve-t-on pas d'images de synthèse? Une réponse possible, à affiner sans doute, est que ce type d'images nécessite une compréhension approfondie des processus physiques et biologiques à l'œuvre. Les images de simulation et de modélisation ont pour visée la représentation de systèmes physiques extrêmement limités, comprenant quelques centaines d'atomes. Or, dans ce laboratoire de pharmacologie, les données sont issues d'expérimentations sur le vivant (des organismes de souris, par exemple). La complexité de ce type de système est évidemment telle que la réalisation d'images de synthèse est difficilement envisageable.

Bien sûr, on peut modéliser une protéine en biologie moléculaire et cela se fait dans des laboratoires où l'on trouve des chercheurs qui consacrent principalement leur activité à cela. Mais, dans le laboratoire de pharmacologie présenté dans le cadre de cet article, il faudrait être en mesure de modéliser, sous forme d'algorithmes, non seulement la protéine, mais également son action sur un organe particulier et sur l'ensemble de l'organisme de la souris. Les chercheurs ne sont pas encore capables de modéliser ou de simuler ces types de systèmes complexes, à supposer qu'ils puissent le faire un jour et que cela soit utile d'une quelconque manière aux yeux des pharmacologues du laboratoire.

3.4 D'autres types d'images présents en pharmacologie : histogrammes et schémas explicatifs

3.4.1 Histogrammes

On peut observer, dans le laboratoire de pharmacologie, la présence massive d'un autre type d'images, à la fois dans la pratique quotidienne et dans les publications, qui est pratiquement absent en physique des matériaux : l'histogramme¹³. Prenons pour exemple la mesure de la densité optique qui s'effectue à l'aide d'un spectromètre. La densité optique repose sur la loi de Behr-Lambert et établit une proportionnalité entre la concentration d'une entité chimique en solution (un colorant, par exemple), l'absorbance de celle-ci et la longueur du trajet parcouru par la lumière dans la solution. On obtient ainsi des données chiffrées sous forme de tableau. Ces données chiffrées peuvent être transformées en deux types de diagrammes : en histogrammes ou en un type de diagramme que l'on rencontre déjà en physique des matériaux, sous la forme d'images retraitées, à savoir les courbes.

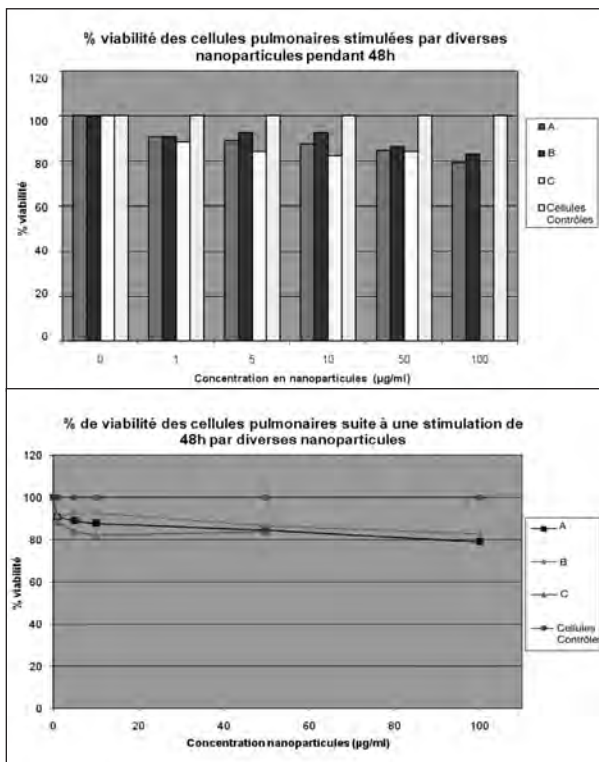


Figure 7. F. Pons/IEA. Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

Illustrons ceci par une étude qui vise à montrer que des nanoparticules ont une toxicité potentielle. La chercheuse fait varier la concentration de nanoparticules qu'elle va mettre en contact avec des cellules humaines de l'épithélium bronchique cultivées dans des plaques. Les nanoparticules étudiées sont de trois types, appelons-les A, B et C. La question est de savoir si ces nanoparticules tuent ou « stressent » les cellules bronchiques. La dernière phase des expériences consiste à utiliser un réactif dont l'intensité de coloration, et donc de densité optique, sera proportionnelle à la quantité de cellules restées vivantes. Les plaques ainsi obtenues sont analysées dans le spectromètre et on obtient un tableau chiffré de la densité optique qui sera converti sous forme d'histogramme ou de courbe.

3.4.2 Schémas explicatifs

Si, comme je l'ai déjà souligné plus haut, nous trouvons peu d'images de synthèse produites uniquement à l'aide d'algorithmes en pharmacologie, nous rencontrons en revanche, et ce de manière récurrente, un autre type d'images, inexistant en physique des matériaux. Ce sont les schémas explicatifs. Ces schémas assument un rôle épistémique extrêmement important puisqu'ils fournissent, sous forme visuelle, une explication détaillée des phénomènes biologiques à l'œuvre dans un système

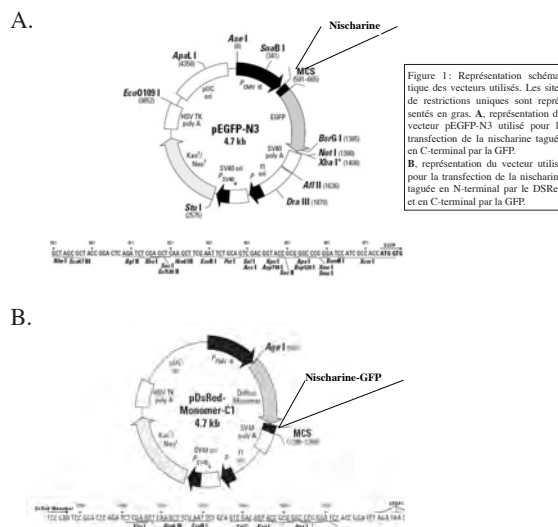


Figure 8. Schéma explicatif. M. Bernat/IEA. Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

vivant donné. Ils intègrent tout à la fois des données issues du réel et une grande part de convention permettant de développer l'explication. Ces schémas possèdent une fonction cognitive essentielle, car ce sont eux qui permettent aux chercheurs de résumer de manière efficace les processus à l'œuvre. Ils supposent comme conditions de leur réalisation :

- que le chercheur ait réussi à bien comprendre toutes les étapes du processus investigué et les liens entre ces différentes étapes ;
- une compétence à élaborer une représentation visuelle qui soit compréhensible pour le lecteur, ce qui nécessite non seulement une maîtrise des conventions utilisées en pharmacologie, mais également une compétence didactique, de manière à transmettre les informations efficacement sans en omettre.

Ces images supposent également, de la part du lecteur, une maîtrise minimale des conventions utilisées pour figurer les processus (interpréter correctement la signification d'une flèche, comprendre de quelle manière a été représentée la membrane d'une cellule, etc.)¹⁴. Il conviendrait d'étudier plus précisément ces schémas et d'y repérer les artifices de présentation qui leur confèrent leur efficacité cognitive.

Ma classification initiale établie en adoptant un critère génétique, à partir de mes observations en physique des matériaux, ne peut plus être conservée en l'état, puisque, comme nous l'avons vu, nous avons affaire à d'autres types d'images en pharmacologie.

4. RÉAMÉNAGEMENT DE MA TYPOLOGIE INITIALE

4.1 Données sources

J'ai choisi d'intégrer ma catégorie « images sources » à l'intérieur d'une catégorie plus générale que je nommerai « données sources ». Cette catégorie inclut les images sources et les données chiffrées sources – le point commun étant que ce sont toujours les premières informations recueillies à l'aide d'un ou de plusieurs instruments. Ainsi, en pharmacologie, nous trouvons aussi bien des images sources (par exemple, des images de microscopie optique) et des données sources (par exemple, des données chiffrées de densité optique).

4.2 Données retraitées

Ma deuxième catégorie devient dès lors la catégorie « données retraitées ». Les opérations de retraitement se font :

- soit informatiquement et donc automatiquement, en physique des matériaux et en pharmacologie, en fabriquant des images retraitées à partir d'images sources, avec tous les problèmes liés à la création ou à l'utilisation de logiciels ou de programmes adéquats ;
- soit en pharmacologie, en fabriquant des images dérivées de données sources ; entreprise qui suppose fréquemment l'existence d'une phase durant laquelle l'être humain intervient directement et ne délègue pas entièrement ce travail à des logiciels.

Il s'agit ici de transformer des données chiffrées sources en histogrammes ou en courbes¹⁵. Qu'est-ce qui motive le choix de ces types de représentation graphique – courbes et histogrammes notamment – en pharmacologie ? Pour tenter de comprendre ce point, j'ai trouvé utiles les propositions d'Edward Tufte relatives à la mise en graphique des données chiffrées :

Quand nous raisonnons à partir de données quantitatives, certaines méthodes de présentation et d'analyse de ces données sont meilleures que d'autres. Les meilleures méthodes permettent d'aboutir à de meilleurs résultats en termes de vérité, de crédibilité et de précision. Qu'une analyse soit d'excellente ou de mauvaise qualité n'est pas indifférent et peut aboutir, le cas échéant, à des conséquences catastrophiques. (1997 : 27 ; ma traduction)¹⁶

La pensée de Tufte sur ce point est précisée dans un ouvrage ultérieur :

Si les représentations visuelles des données doivent être véridiques et riches d'enseignement, alors la logique du processus de mise en forme de la représentation doit refléter la logique de l'analyse intellectuelle, autrement dit, du raisonnement scientifique. Une visualisation claire et précise ne fait plus qu'une avec une pensée claire et précise. Les raisonnements sur les données quantitatives et la mise en forme des graphiques quantitatifs doivent inclure les points suivants : fournir des informations sur la source et sur les caractéristiques des données, souligner la pertinence des

comparaisons effectuées, établir des relations de cause à effet, exprimer ces relations quantitativement, reconnaître que les problèmes analytiques comportent intrinsèquement des variables multiples, rechercher et évaluer des explications alternatives. (2000: 53; ma traduction)

Pour en revenir au laboratoire de pharmacologie, je vais essayer de montrer que ces remarques de Tufte sont particulièrement opératoires pour les images dérivées de données sources. Revenons sur l'exemple de l'étude qui vise à montrer que des nanoparticules ont une toxicité potentielle. La grille de lecture répertoriant les différentes fonctions des graphiques quantitatifs, proposée par Tufte, est-elle judicieuse?

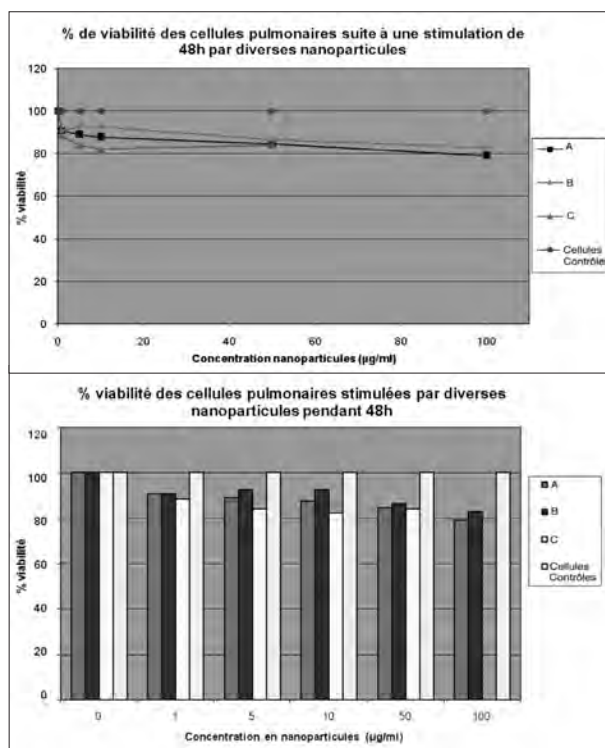


Figure 9. F. Pons/IEA.

Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

- 1) Fournir des informations sur la source et sur les caractéristiques des données.

Sur les deux représentations, nous apprenons qu'il s'agit de cellules bronchiques de type X, stimulées pendant 48 heures. Les cellules X sont bien connues par ailleurs puisqu'elles sont issues depuis des années de la même souche prélevée sur un même

patient. Nous découvrons également les types de nanoparticules utilisées (A, B, C).

- 2) Souligner la pertinence des comparaisons effectuées.

Cela se manifeste par la présence de quatre courbes ou de quatre barres permettant de comparer les cellules en milieu de culture sans nanoparticules, qui constituent le groupe contrôle, et les cellules avec des doses croissantes de nanoparticules A, B et C (indiquées en abscisse). Les cellules contrôles (traitées par le solvant des nanoparticules seulement) restent vivantes tout au long du processus, tandis que les autres, soumises au contact avec les nanoparticules, meurent progressivement: la comparaison semble donc pertinente.

- 3) Établir des relations de cause à effet.

La courbe et l'histogramme permettent, avec des variantes selon les nanoparticules, de visualiser le fait que plus leur concentration est élevée, plus les cellules meurent (le pourcentage de viabilité baisse). Ces graphiques donnent donc clairement à voir que les nanoparticules font mourir les cellules en fonction de leur concentration.

- 4) Exprimer quantitativement ces relations de cause à effet.

On a, en ordonnée, le pourcentage de cellules encore vivantes pour tous les cas de figure: c'est le pourcentage de viabilité, et, en abscisse, les concentrations croissantes de nanoparticules.

- 5) Reconnaître que les problèmes analytiques comportent intrinsèquement des variables multiples.

Les variables ici sont: le type de nanoparticules, les concentrations de nanoparticules, le temps de stimulation (ici constant: 48 heures).

- 6) Rechercher et évaluer des explications alternatives.

Ces opérations sont réalisées non pas sur ces graphiques, mais au moyen d'expériences complémentaires. Par exemple, en testant les produits utilisés pour maintenir les nanoparticules en suspension dans les échantillons. Une série d'expériences « contrôles » a consisté à évaluer la toxicité des excipients des nanoparticules.

Pour l'objet de l'étude, à savoir la mesure de la toxicité des nanoparticules, les courbes constituent une meilleure représentation graphique, car on visualise mieux la pente générale descendante.

Cette pente descendante montre que le pourcentage de viabilité diminue quand on augmente les concentrations en nanoparticules. La relation de cause à effet est mieux mise en valeur que dans l'histogramme, alors que ce sont exactement les mêmes données retraitées. Interpréter l'histogramme semble sur ce point plus difficile: on perçoit visuellement moins bien la toxicité croissante des nanoparticules. Il y a donc là un impact argumentatif manifeste dans le fait de privilégier la courbe par rapport aux histogrammes. Cet impact sera largement à approfondir dans les travaux à venir, notamment en mobilisant des cadres d'analyse sémiotiques.

4.3 Les images de figuration

L'intitulé de la catégorie « image de synthèse » mettait l'accent sur le mode de production des images de modélisation et de simulation, et donc sur le fait qu'elles sont générées uniquement à partir d'algorithmes. Ce faisant, je n'insistais guère sur le rapport entre ces images et les entités ou les propriétés qu'elles sont censées permettre de visualiser. Ce qui les distingue des données sources et des données retraitées (et des images que ces catégories incluent), c'est l'absence totale de contact causal entre les images de modélisation, de simulation et les schémas explicatifs, d'une part, et les entités ou les propriétés soumises à investigation, d'autre part. Or, c'est bien là ce qui fait leur spécificité épistémique d'un point de vue génétique. Ces images permettent de « figurer » des éléments du réel, sans inclure aucune opération de détection, comme c'est en revanche le cas pour toutes les images que j'ai classées dans les deux autres catégories (images sources et images retraitées). Pour pouvoir être réalisées, ces images de figuration nécessitent, d'une part, la prise en compte d'informations issues du réel, sans contact causal matériel plus ou moins direct, et, d'autre part, la prise en compte des théories admises dans un domaine scientifique donné. Dans cette catégorie, nous trouvons dès lors:

- les images de simulation: à travers elles, on aspire à recréer au plus près les conditions d'une appréhension des phénomènes naturels au moyen d'un matériel expérimental ou observationnel.

On vise ainsi à produire une vice-expérience et ces images nécessitent par conséquent, pour leur création, la connaissance la plus complète possible des facteurs expérimentaux et théoriques;

- les images de modélisation qui, pour un système donné, prennent en compte les théories établies et négligent délibérément la plupart des facteurs expérimentaux;
- les schémas explicatifs qui fournissent une explication visuelle des processus à l'œuvre, en considérant des informations tirées des expériences (des données sources), des informations liées aux théories en vigueur et les conventions représentationnelles propres au domaine disciplinaire au sein duquel l'investigation est réalisée. À tous ces éléments, viennent sans nul doute s'ajouter des éléments idiosyncrasiques liés aux capacités des chercheurs à bien comprendre ce qui est en jeu dans le cadre des opérations instrumentales, en référence à des contextes déterminés, et à en fournir une restitution la plus claire possible.

L'application de cette perspective génétique (et son amendement nécessaire dès lors qu'on souhaite lui conférer une portée plus générale permettant d'inclure l'intégralité des images produites en pharmacologie) me permet de distinguer différents types d'images. Cette typologie me paraît utile, car elle peut servir de boussole en vue de s'orienter au sein du vaste domaine des images scientifiques, et surtout de comprendre que ces images ne sont pas à mettre toutes sur le même plan. Une image de simulation peut formellement ressembler trait pour trait à une image source, mais leurs significations respectives et leurs fonctions pour la communauté des chercheurs seront fondamentalement distinctes, car intimement liées, comme nous l'avons vu, à leur processus de production (rapport causal plus ou moins direct avec une source émettrice d'informations sous forme de traces dans le cas des images sources, décryptage intégral sous forme algorithmique des aspects expérimentaux et des aspects théoriques liés au phénomène investigué dans le cas des images de simulation). Il sera sans doute intéressant d'appliquer

cette typologie à d'autres domaines disciplinaires des sciences expérimentales. L'élaboration même d'une telle typologie ne constitue cependant pas une fin en soi. L'intérêt principal qui peut justifier sa prise en compte réside dans le fait qu'on peut espérer mieux comprendre, à partir d'elle, ce que font les chercheurs dans leurs laboratoires. Un scientifique confronté à une image de simulation va se pencher sur le détail des algorithmes produits et va recourir à certaines stratégies en vue d'éprouver sa valeur épistémique. S'il a affaire à une image source obtenue avec un STM, il examinera non pas les algorithmes qui ont contribué à sa réalisation (car ceux-ci posent rarement problème), mais les conditions qui ont présidé à l'expérimentation (préparation de l'échantillon, qualité de l'ultravide dans l'enceinte du microscope, représentativité de la zone visualisée sur l'image par rapport à l'ensemble de l'échantillon, etc.). La signification de l'image et la valeur épistémique que le chercheur lui confère sont donc directement liées à la catégorie de l'image et au mode de production qui lui est associé. Les problèmes qui jalonnent la réalisation des images sont souvent hautement spécifiques en fonction des domaines disciplinaires au sein desquels elles ont été produites, et donnent lieu au développement de stratégies de corroboration elles-mêmes spécifiques.

5. DIFFÉRENCES ET SIMILITUDES ENTRE LES PROCESSUS DE PRODUCTION DES DONNÉES SOURCES ET DES DONNÉES RETRAITÉES EN PHYSIQUE DES MATÉRIAUX ET EN PHARMACOLOGIE

5.1 *Présence d'artefacts à l'occasion de la production des images, à des moments différents du processus de recherche*

Un des problèmes récurrents rencontrés par les chercheurs, dans les deux laboratoires à l'occasion de la production des images, est la présence de nombreux artefacts. Cette similitude une fois constatée, le point le plus frappant et qui mérite d'être soumis à l'analyse est constitué par le fait que les artefacts ne se situent pas du tout au même moment du processus de recherche. En physique des matériaux, ils peuvent apparaître en amont du moment de la production des images, au moment même de la prise d'images, et en aval de cette production, au moment du retraitement

des images. En pharmacologie, les artefacts potentiels ne se produisent que très peu au moment de la prise d'images ou, en aval, au moment du traitement des données. En revanche, ils sont massivement présents en amont, surtout dans la phase de préparation des échantillons ou dans les multiples opérations instrumentales qui aboutissent finalement à la réalisation d'une image.

Voici une liste non exhaustive des artefacts rencontrés en pharmacologie :

- 1) Le fond génétique des souris a évolué au cours des générations, c'est-à-dire que, génétiquement, la descendance ne correspond plus aux reproducteurs initiaux.
- 2) Les protocoles d'expérience mobilisés sont inadéquats. Il faut les modifier et les adapter. Les protocoles sont en général issus des publications d'autres chercheurs, mais ce n'est pas pour autant qu'ils donneront tout de suite lieu à des résultats reproductibles. Il est très important d'optimiser un protocole si l'on veut garantir la reproductibilité d'une expérience en pharmacologie. Et certaines des expériences faites ont d'ailleurs pour seul but de parvenir à stabiliser ces protocoles.
- 3) Les diverses manipulations mobilisant des savoir-faire précis sont fautives. Par exemple, pipeter correctement, obtenir la bonne pesée, assurer une bonne conservation de l'échantillon biologique, effectuer une perfusion sans problème, etc., sont des éléments-clés de diverses expériences. Comme les manipulations sont extrêmement nombreuses, il est indispensable, mais souvent difficile, d'identifier laquelle ou lesquelles sont fautives.
- 4) Un des appareils utilisés lors des manipulations est défectueux (le calibrage d'un appareil a été mal réalisé).

Illustrons le type de situation auquel les scientifiques sont quotidiennement exposés par le cas de la chercheuse qui, dans le cadre de l'étude sur la toxicité des nanoparticules précédemment évoquée, teste un protocole afin d'établir une gamme étalon. Cette gamme doit permettre de doser une protéine, une cytokine, dans le milieu de culture des cellules bronchiques. L'hypothèse est que cette protéine

pourrait être produite par les cellules si elles ont été « stressées » par la présence des nanoparticules. Avant de rechercher cette protéine dans des échantillons comportant des cellules humaines « stressées » par des nanoparticules, la chercheuse veut établir une gamme étalon visant à fournir un point de repère quant au degré de concentration de la protéine dans ses échantillons. C'est une sorte d'échelle graduée allant d'un degré zéro à des concentrations de plus en plus élevées de la protéine. Après des manipulations qui durent plusieurs heures, la dernière phase de la méthode de dosage consiste à ajouter un réactif dont l'intensité de coloration, et donc la densité optique, sera proportionnelle à la concentration de cette protéine. Le tout sera analysé dans un spectromètre qui délivrera des données chiffrées sources, qui seront converties à nouveau en courbes ou en histogrammes. Hélas, bien qu'ayant suivi le plus scrupuleusement possible le protocole de test, les résultats sont mauvais et la chercheuse déçue n'arrive pas à obtenir une gamme étalon correcte. Avec l'aide d'une chercheuse confirmée, elle essaie de comprendre pourquoi ce résultat est fautif. Première piste envisagée, un mauvais pipetage : la chercheuse confirmée réévalue la manière de pipeter de l'étudiante, en vérifiant que les volumes corrects sont distribués dans le bon puits. Mais ce n'est pas la seule piste envisagée. Selon la chercheuse confirmée, ce résultat surprenant pourrait également avoir été produit lors de l'agitation de la plaque dans un appareil appelé « agitateur de plaques ». Elle vérifie que le degré d'agitation nécessaire au protocole est bien celui qui a été utilisé par la jeune chercheuse. La plaque a peut-être été secouée trop fortement, elle propose donc d'amender le protocole initial. Dernière piste envisagée, l'hypothèse qu'un appareil, en l'occurrence celui qui permet de rincer automatiquement les puits, soit défectueux. Il s'agit de petits tubes qui descendent automatiquement dans chacun des puits et qui les rincent au moyen d'une solution saline. La chercheuse confirmée sait que ces tubes peuvent parfois se boucher en raison de la présence de résidus de sels, empêchant ainsi le rinçage de certains puits.

De surcroît, il est tout à fait possible que ces différents types d'artefacts soient simultanément

présents. Il faut donc que notre jeune chercheuse refasse sa gamme étalon en vérifiant ces différents points. On comprend bien, à travers cet exemple, qu'il n'est pas toujours aisé d'identifier la cause des artefacts. C'est un enjeu majeur, car de cette identification dépend directement la valeur épistémique que le chercheur va accorder aux images sources et retraitées, et ceci est vrai pour les deux domaines d'investigation expérimentale étudiés.

5.2 Une différence majeure : l'absence de flexibilité interprétative quant aux images produites en pharmacologie

Qu'appelle-t-on « flexibilité interprétative » ? Dans les études menées par le sociologue des sciences Harry Collins (1981), la flexibilité interprétative désigne le fait que les données empiriques, produites ou collectées au cours d'une recherche, donnent lieu à des interprétations différentes entre lesquelles il est difficile de trancher. En physique des matériaux, une telle flexibilité interprétative est bien présente, notamment au moment de la réalisation des images. Elle est repérable au sein des conversations multiples qui se déploient à l'occasion de la prise d'image, discussions qui portent sur ce qu'il convient de voir sur une image donnée¹⁷ : les chercheurs confrontés à une même image n'associent pas toujours les mêmes éléments et, par là, le sens conféré à ces éléments diffère. On constate ainsi que la signification d'une image donnée se construit progressivement. Le statut épistémique conféré à une image dépendra, dans ce cas, non seulement de l'identification de tous les artefacts potentiels, mais également de la capacité collective à construire et à stabiliser une signification, stabilisation qui est obtenue en adoptant diverses stratégies évoquées dans la suite de mon propos.

Si nous nous tournons vers la pharmacologie, on ne trouve pas de flexibilité interprétative quant aux images réalisées. Les images sources ou les images dérivées de données sources en pharmacologie ne sont pas « difficiles » à interpréter, interpréter étant pris ici au sens d'identifier les différents éléments présents sur une image¹⁸. Elles ont plutôt une fonction de sanction de l'expérience. Très rapidement, le chercheur, en voyant son image de microscopie, son image de *Western Blot* ou encore ses courbes,

parvient à donner une signification à ce qu'il voit. Soit l'élément recherché est présent sur l'image, soit il ne l'est pas. Il y aura peu de discussions sur ce qu'il convient de voir sur une image.

En revanche, il y en aura beaucoup sur les artefacts potentiels qu'il faudrait prendre en compte pour expliquer la présence de certains éléments sur l'image et évidemment sur la meilleure méthodologie à adopter afin d'avoir la garantie d'éliminer le plus grand nombre possible d'artefacts. Le statut épistémique d'une image source ou retraitée donnée sera alors directement lié à la faculté du chercheur à débusquer tous les artefacts potentiels.

5.3 *Évolution du statut épistémique des images ou des données sources et retraitées en physique des matériaux et en pharmacologie*

Au début du processus de recherche, les données sources ou retraitées ont un statut épistémique faible qui n'autorise pas leur utilisation dans le cadre d'une publication, que l'on travaille en physique des matériaux ou en pharmacologie. L'un des enjeux est donc de renforcer ce statut épistémique. Comment? En mettant en œuvre un certain nombre de stratégies bien décrites à mon sens par Allan Franklin dans le cadre de son « épistémologie de l'expérimentation » (1986, 1990). Ces stratégies, selon Franklin, ont été développées par les chercheurs tout au long de l'histoire des sciences, en vue de se convaincre de ce que leurs résultats expérimentaux sont fiables et renvoient à des processus et à des phénomènes existant réellement dans la nature. Ces stratégies sont: les vérifications expérimentales et les phases de calibration durant lesquelles un instrument reproduit un phénomène connu; la reproduction des artefacts déjà connus; l'élimination des sources d'erreurs plausibles et l'élimination des possibles explications alternatives permettant d'expliquer un phénomène; la reproductibilité des résultats expérimentaux; l'intervention durant laquelle l'expérimentateur manipule l'objet étudié; le recours à des corroborations expérimentales fondées sur d'autres expériences; le recours à une théorie indépendante et bien corroborée par ailleurs; le recours à des instruments reposant sur des théories pour le

reste bien corroborées; le recours à des arguments statistiques; l'analyse des données en aveugle.

Je n'étudierai pas ici dans le détail toutes les stratégies¹⁹, même si presque toutes sont mobilisées dans les deux laboratoires et sont repérables non seulement dans la pratique quotidienne des chercheurs, mais également dans l'argumentaire qu'ils développent dans les publications. Cela dit, certaines stratégies dominent au sein d'une discipline donnée et l'on pourrait envisager de cartographier le champ des sciences expérimentales en étudiant de manière systématique la place qu'y occupent les différentes stratégies et le poids relatif qui est conféré à chacune d'elle. Ainsi, deux d'entre elles sont plus particulièrement mobilisées en pharmacologie:

- La reproductibilité. Parvenir à reproduire plusieurs fois une expérience et à obtenir des images équivalentes est très important en pharmacologie, tant la complexité des systèmes vivants rend difficile l'établissement et la maîtrise des paramètres pertinents pour l'investigation.
- Le recours à des corroborations fondées sur d'autres expériences. Cette stratégie est présente dans la pratique quotidienne et structure généralement l'argumentaire final des publications. Imaginons qu'un article soit rédigé à l'issue de l'étude de la toxicité des nanoparticules. On y trouvera certainement une image source de microscopie optique destinée à montrer que certaines nanoparticules tuent les cellules bronchiques. On trouvera également, dans la publication, une image dérivée de données sources (un histogramme) permettant de visualiser la présence de cytokine résultant du stress provoqué par les nanoparticules. Ces deux images ont d'abord un statut épistémique faible, mais elles se renforcent l'une l'autre et acquièrent ainsi une valeur épistémique beaucoup plus élevée dans le cadre de l'argumentation qui sera ultérieurement développée dans une publication.

Pour conclure, l'adoption d'une perspective génétique permet tout d'abord de caractériser au moyen d'une même grille de lecture les images réalisées au sein de disciplines très différentes.

C'est là un moyen de contourner l'écueil toujours envisageable consistant, lorsqu'on cherche à analyser les images scientifiques, à construire des outils de compréhension *ad hoc*, variant dès qu'on passe de l'étude d'une discipline scientifique à celle d'une autre. Cette variété des concepts opératoires nuit à la portée de l'analyse, qu'elle soit sémiotique, philosophique, historique, etc. D'autre part, l'adoption d'une perspective génétique permet de comprendre pourquoi toutes les images ne sont pas mises sur un même plan par les scientifiques, dans le cadre de leurs activités de recherche et de validation de leurs hypothèses. Cela exige, de la part de l'analyste, une prise en compte des processus de production des différents types d'images, des problèmes que ceux-ci comportent et des stratégies déployées par les scientifiques en vue de leur apporter des solutions. Cette perspective génétique me paraît donc présenter l'intérêt d'établir un pont entre l'universel (une même typologie pour classer les images quels que soient les domaines scientifiques abordés) et le particulier (souligner les difficultés inhérentes à la production des images et les stratégies de remédiation particulières propres à chaque discipline scientifique)²⁰.

NOTES

1. 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. Les disciplines étudiées sont la physique des matériaux, l'astrophysique et la pharmacologie. Les études se sont poursuivies de 2000 à 2009 (voir Allamel-Raffin, 2003 *et suiv.*)

2. Je suis ici en parfait accord avec l'exigence formulée par Luc Pauwels lorsqu'il affirme : « Si l'on considère les représentations scientifiques et les manières dont elles facilitent ou entravent notre compréhension, il est clair qu'une approche objectale, qui voudrait limiter notre attention à la représentation conçue comme un produit autonome du labeur scientifique, est inappropriée. Ce qui est exigé, c'est une approche processuelle : chaque représentation visuelle devrait être reliée à son contexte de production. De surcroît, elle ne peut être comprise hors de son contexte dynamique particulier d'utilisation, de réutilisation et de réception » (2006 : 21 ; ma traduction).

3. La typologie initiale en question a été élaborée au cours de mes premières recherches, qui portaient initialement sur la production et

les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique. Dans le cadre de ces travaux, j'ai associé les acquis de cette typologie à une approche inspirée de la sémiotique peircienne, en mobilisant en outre les concepts de signe iconique et de signe plastique, tels qu'ils sont définis par le Groupe μ . Pour plus de précisions, voir sur ce point Allamel-Raffin (2003, 2004a, 2004b, 2006).

4. J'ai séjourné durant une période d'environ six mois dans ce laboratoire entre 2001 et 2004. Le GSI est un laboratoire faisant partie de l'IPCMS (Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg, unité mixte CNRS-ULP. UMR 7504).

5. Bien entendu, il existe, dans ce laboratoire, d'autres appareillages couramment utilisés en physique des matériaux : la diffraction des électrons lents (ou LEED), la spectroscopie Auger, le rayonnement synchrotron à Grenoble, etc.

6. Le laboratoire « Inflammation et environnement dans l'asthme » est une équipe d'accueil (EA 3771) intégrée à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg. J'ai séjourné pour l'instant environ deux mois dans ce laboratoire. L'étude est en cours.

7. Cette classification est pertinente également pour les images produites en astrophysique. Pour plus de précisions, voir Allamel-Raffin (2004a, 2004b, 2006).

8. En d'autres termes, cette primauté sur le plan génétique est *temporelle*. Elle inclut également l'idée d'un nombre nécessairement plus réduit de médiations dans l'accès au référent que les images retraitées que je définirai un peu plus loin.

9. L'ensemble des chercheurs du GSI/IPCMS m'ont autorisée à reproduire les images qui figurent dans cet article.

10. Je préfère employer le terme « retraité », car les images sources résultent déjà en partie, comme je l'ai souligné plus haut, de traitements informatiques automatiques.

11. Bruit et artefact sont des effets indésirables qui apparaissent au cours du processus expérimental. Ce qui les différencie, c'est leur caractère : permanent dans le cas du bruit, ponctuel dans le cas de l'artefact.

12. Dans d'autres travaux (Allamel-Raffin, 2004a, 2004b, 2006), j'ai procédé à une analyse détaillée de ces traitements d'images grâce au concept de signe iconique élaboré par le Groupe μ . « Le signe iconique possède certains caractères du référent, conformément à la définition classique du signe [...]. Il possède aussi certains caractères ne provenant pas du modèle, mais du producteur d'image ». 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 : 96] citant le Groupe μ). Selon J.-M. Klinkenberg, s'inspirant de ses travaux avec le Groupe μ , la transformation est « un modèle rendant compte des ressemblances et des différences (de forme, de couleur, etc.) que l'on observe entre la représentation et l'objet de la représentation » (2000 : 387). Ces transformations peuvent être de quatre types : géométrique (les projections, les homothéties, les transformations topologiques) ; analytique (reposant sur l'algèbre : la discrétisation, par exemple) ; optique (amélioration de contraste, ajout de couleurs) ; cinétique (c'est l'observateur qui produit la transformation en changeant sa position, et donc l'angle de vision). Sans entrer ici dans le détail, je dirai que le recours aux trois premières catégories de transformation permet de rendre parfaitement compte des traitements d'images en physique des matériaux.

13. En physique des matériaux, quelques histogrammes figurent par exemple dans des articles consacrés à la croissance de matériaux. Ils ont pour fonction de permettre la comparaison de quantités de dépôts effectués dans des conditions expérimentales différentes.

14. Les conventions de représentation sont établies au fil du temps par la communauté des chercheurs et évoluent constamment. Certains signes apparaissent, d'autres disparaissent en fonction des besoins de

la recherche et de ce qui est estimé constituer la meilleure visualisation possible pour un type de phénomène donné.

15. J'ouvre ici un champ d'investigation totalement nouveau pour moi, car ce type d'images, par exemple les histogrammes, était pratiquement absent de la physique des matériaux et de l'astrophysique.

16. Tufte indique en guise d'exemple de conséquence catastrophique l'accident de la navette américaine Challenger. Selon lui, ce dernier résulte du fait que la présentation visuelle des données était inadéquate et n'a pas permis de délivrer en temps utile la bonne interprétation.

17. À ce sujet, le concept de signe plastique développé par le Groupe μ m'a été particulièrement utile pour comprendre les processus qui menaient à la construction de la signification pour une image donnée. Le concept de signe plastique permet de focaliser son attention sur les caractéristiques matérielles de l'image. On peut définir différentes familles de signes plastiques : les couleurs, les formes et les textures (Groupe μ , 1992 : 196). Pour plus de précision sur ce point, voir Allamel-Raffin (2003, 2004a).

18. En revanche, ce qui est difficile en pharmacologie, c'est de relier le contenu de l'image à un « effet » donné ou attendu. Par exemple, dans le cas du *Western Blot*, l'anticorps utilisé est-il spécifique de la protéine recherchée ? Plusieurs expériences contrôlées sont nécessaires pour le savoir : la taille de la protéine correspond-elle à la protéine native ? Si plusieurs bandes apparaissent, une bande peut correspondre à la taille attendue, mais d'autres protéines sont marquées par le même anticorps : s'agit-il d'une dégradation de la protéine native ? S'agit-il d'un fragment de cette protéine et de protéines marquées non spécifiquement par l'anticorps ?

19. Pour un exemple de mise en œuvre de ces stratégies en physique des surfaces, voir Allamel-Raffin (2005a). Pour un exemple de mise en œuvre de ces stratégies appliquées à l'invention de deux instruments scientifiques révolutionnaires – la lunette de Galilée et le microscope à effet tunnel –, voir Allamel-Raffin (2005b).

20. Cette étude devra sans aucun doute être complétée par l'adoption d'une perspective téléologique (dans quels buts les images sont-elles produites ?).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLAMEL-RAFFIN, C. [2003] : « Comment le sens vient-il à l'image ? Analyse d'une conversation autour d'un microscope en physique des matériaux », Actes du 10^e Colloque bilatéral franco-roumain, *Supports, dispositifs et discours médiatiques à l'heure de l'internationalisation*, Bucarest, 28 juin au 3 juillet. En ligne : http://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00000581/en/ (page consultée le 29 septembre 2009) ;
—— [2004a] : *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse de doctorat, Strasbourg, Université Louis Pasteur. En ligne : http://sciences-medias.ens-lsh.fr/scs/article.php?id_article=255 (page consultée le 29 septembre 2009) ;
—— [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*, vol. 9, n° 1-2, 159-174 ;

—— [2005a] : « De l'intersubjectivité à l'interinstrumentalité.

L'exemple de la physique des surfaces », *Philosophia Scientiae*, vol. 9, n° 1, 3-31 ;

—— [2005b] : « De la lunette de Galilée au microscope à effet tunnel », *Les Génies de la Science*, n° 23, 10-15 ;

—— [2006] : « La complexité des images scientifiques. Ce que la sémiotique de l'image nous apprend sur l'objectivité scientifique », *Communication et langages*, n° 149, 97-111.

BASTIDE, F. [1985] : « Iconographie des textes scientifiques. Principes d'analyse », *Culture technique*, n° 14, 133-152.

COLLINS, H. M. [1981] : « Stages in the Empirical Programme of Relativism », *Social Studies of Science*, vol. 11, n° 1, 3-10.

FRANKLIN, A. [1986] : *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press ;

—— [1990] : *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge, Cambridge University Press.

GIERE, R. N. [1996] : « Visual Models and Scientific Judgment », dans B. S. Baigrie (dir.), *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science*, Toronto, University of Toronto Press, 269-302.

GROUPE μ , [1992] : *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Seuil.

JACOBI, D. [1985] : « La visualisation des concepts dans la vulgarisation scientifique », *Culture technique*, n° 14, 152-163.

JOLY, M. [1994] : *L'Image et les Signes. Approche sémiologique de l'image fixe*, Paris, Nathan Université.

KLINKENBERG, J.-M. [2000] : *Précis de sémiotique générale*, Bruxelles, De Boeck Université, coll. « Points ».

LATOUR, B. [1985] : « Les "vues" de l'esprit. Une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques », *Culture technique*, n° 14, 5-29 ;

—— [1993] : « Le travail de l'image ou l'intelligence savante redistribuée », *La Clef de Berlin*, Paris, La Découverte, 145-170.

LATOUR, B. et S. WOOLGAR [1988] : *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*, Paris, La Découverte.

PAUWELS, L. [2006] : « A Theoretical Framework for Assessing Visual Representational Practices in Knowledge Building and Science Communications », dans L. Pauwels (dir.), *Visual Cultures of Science. Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*, Hanover and London, University Press of New England, 1-25.

TUFTE, E. R. [1990] : *Envisioning Information*, Cheshire (CT), Graphic Press ;

—— [1997] : *Visual Explanations. Images and Quantities, Evidence and Narrative*, Cheshire (CT), Graphic Press ;

—— [2007] : *The Visual Displays of Quantitative Information*, Cheshire (CT), Graphic Press.

LA STRATIFICATION TEMPORELLE DANS L'IMAGE SCIENTIFIQUE¹

MARIA GIULIA DONDERO

INTRODUCTION

Notre travail porte sur les stratégies représentationnelles de la stratification temporelle dans deux disciplines : l'astrophysique et l'archéologie. Le présent article peut être considéré comme appartenant à la catégorie des études relatives à la « science faite », à savoir une analyse de la littérature scientifique de ces deux disciplines. En ce qui concerne la méthode utilisée et les objectifs poursuivis dans cette étude, nous n'envisageons pas un travail ethnographique d'analyse de la production de visualisations et d'images², ni une analyse des pratiques et des procédures de recherches en laboratoire³ qui relèverait des études relatives à la « science en train de se faire ». Nous envisageons plutôt de prendre en considération, à travers une approche sémiotique, une problématique qui nous paraît *transversale* à différentes disciplines contemporaines, c'est-à-dire la représentation de la stratification des couches temporelles (présent, passé, futur).

L'analyse des statuts que les images assument dans la littérature scientifique ne nous empêchera pas de nous poser des questions sur la relation entre les statuts stabilisés des images en littérature et les statuts⁴ que ces mêmes images ont assumés lors de leur production en laboratoire au sein d'une expérience. À cet égard, ce qu'il faudrait mettre en évidence c'est, d'une part, la chaîne productive des images à l'intérieur de l'expérience scientifique et, d'autre part, le positionnement stratégique de ces mêmes images, après sélection et tri, à travers la publication des résultats dans les différents genres discursifs⁵. Il serait nécessaire donc de rapporter le premier aspect au second : mettre en rapport le processus de visualisation et de fabrication des images en laboratoire avec la disposition rhétorique des représentations visuelles dans la littérature scientifique – ce que, dans le cadre de ce travail, nous ne sommes pas en mesure de faire.

En ce qui concerne les disciplines examinées ici, nous avons choisi deux spécialités très différentes de par leurs objets d'étude (l'astrophysique et l'archéologie), mais qui présentent néanmoins un point commun : la nécessité de mettre en scène la stratification des couches temporelles d'un certain nombre de leurs objets d'étude qui sont inaccessibles aux sens (les objets enfouis au fin fond de l'espace pour l'astrophysique et ceux dissimulés dans les strates géologiques pour l'archéologie). Notre objectif est de comparer les stratégies de représentation des objets et des

phénomènes qui échappent à la vision directe, et plus précisément d'illustrer comment il devient possible d'inscrire et de lire la stratification des traces de temporalités différentes dans l'imagerie de ces deux disciplines. Celles-ci se révèlent en effet comme très différentes du point de vue des objectifs et des méthodes d'investigation (montrer l'existence d'un objet et étudier ses propriétés physiques pour l'astrophysique, montrer les processus de constitution des objets dans le temps pour l'archéologie). Mais toutes deux visent, comme but final de l'investigation visuelle, la représentation des strates temporelles : comment le présent empêche de voir le passé dans le cas de l'archéologie, comment le passé et le présent d'un astre permettent de prédire le futur en astrophysique.

1. ARCHÉOLOGIE ET ASTROPHYSIQUE EN COMPARAISON

Commençons par illustrer la différence de fonctionnement des visualisations dans les deux disciplines, en partant de la caractérisation de leurs outils d'investigation et de leurs degrés de technologisation. On pourrait dire que l'archéologie, à la différence de l'astrophysique, et pour des raisons évidentes, ne s'est jamais éloignée complètement de l'investigation par la saisie directe, à savoir par la vision et le toucher, en vue de la classification des différences de couleur, de résistance et de compacité des strates du sol⁶. Ici, on ne portera pourtant pas l'attention sur des méthodes invasives comme la fouille, où les mesurages obtenus ne peuvent pas être *répétés* et *vérifiés*, et qui ne sont donc pas capables de garantir le principe de l'image scientifique fabriquée en laboratoire – principe qui est le propre de l'image en astrophysique et de toutes les disciplines dont les enquêtes sont considérées comme entièrement contrôlables et falsifiables. Nous porterons par conséquent notre attention sur des méthodes non invasives et d'investigation indirecte, telles que la prospection géophysique et la prospection aérienne, qui permettent non seulement de voir et de mesurer sans détruire, mais aussi la comparabilité des données et leur mathématisation. L'imagerie fabriquée en laboratoire, grâce aux prospections géophysiques

qui exploitent des propriétés physiques, comme la résistivité électrique, permet de prélever des informations sur les structures du sous-sol et d'obtenir la totale contrôlabilité des résultats de l'investigation, grâce aussi au croisement de ces données avec le quadrillage du sol (voir Dabas *et alii*, 2006). Cette imagerie permet de construire des véritables cartes représentant la géographie des propriétés physiques et donc les caractéristiques des différentes zones des sols et des sous-sols. À travers le croisement de méthodes différentes d'investigation, comme le quadrillage du sol et les prospections géophysiques, on peut considérer que cette partie récente de l'archéologie aspire à une certaine contrôlabilité collective des recherches et à une certaine reproductibilité des données (notationnalité). Nous allons nous pencher de manière plus précise sur les concepts d'allographie et de notationnalité qui sont utilisés par Nelson Goodman (1968) en les opposant au terme d'autographie.

Le but premier de l'archéologie et de l'astrophysique est de recueillir des données et d'enregistrer des traces de phénomènes, qu'il s'agisse de phénomènes non visibles, ou non détectables parce que trop petits, ou s'étendant sur des temps trop courts ou trop longs, ou encore qui se sont déroulés dans le passé, etc. Ces deux disciplines visent à produire, à partir des traces recueillies, un « quelque chose » que la communauté scientifique puisse appeler « objet », à savoir quelque chose de justifié (indicialité), de stabilisé (iconicité), de partageable (symbolicité)⁷. Comme d'autres disciplines, elles visent aussi à rendre manipulable cet objet, en vue non seulement d'une utilisation plus ample, mais aussi de la production d'hypothèses qui puissent permettre de réutiliser les données incorporées en cet objet pour d'autres investigations futures. Le régime de la collecte de données concerne l'autographie, la fixation en une configuration iconique dense des traces des données et des instruments qui ont été nécessaires pour cette collecte. L'allographie relève en revanche des stratégies de digitalisation des données (de-densification) en vue d'une réutilisation de ces dernières pour d'autres objectifs à venir et en vue d'une généralisation. Le régime de l'allographie permet aussi de répéter

les expériences sur les données en les rendant falsifiables. Pour simplifier, on pourrait affirmer que l'image autographique témoigne d'une relation indicielle⁸ avec le phénomène observé ou détecté (le support d'inscription maintient sa pertinence), alors que l'image allographique se détache de cet ancrage du support pour poursuivre un parcours de schématisation, grâce aux règles de notation, qui la fera devenir une sorte d'image-modèle pour d'autres phénomènes à investiguer. Il s'agit enfin d'une image prédictive, d'une image qui donne des instructions pour d'autres recherches et qui, par conséquent, est orientée vers le futur.

Notre analyse des méthodes prendra donc en considération, pour l'archéologie, la prospection aérienne et surtout les prospections géophysiques⁹. La prospection aérienne est bien une photographie, mais elle met en valeur des caractéristiques choisies du sol. Étant une photographie à rayons X et, par conséquent, sélective, elle permet de s'émanciper du localisme de la trace photographique (autographie) et d'atteindre à un certain degré de répétitivité (allographie) et de falsifiabilité. Cette prospection rend possible la détection des processus qui ont présidé à la formation du sous-sol par la représentation des propriétés de ce dernier.

En ce qui concerne l'astrophysique, nous nous consacrerons à l'analyse spectrale et à la mise en relation des détections selon différentes longueurs d'ondes, se situant entre l'astronomie gamma et l'astronomie radio et permettant la détection des évolutions temporelles des différents astres. Le spectre d'un astre permet l'individuation de sa température, composition chimique, vitesse de rotation, et donc des procès de sa formation, durée et explosion. La caractéristique de l'astrophysique est que le spectre électromagnétique permet la transduction facile entre une détection et l'autre, une longueur d'onde et l'autre: le spectre électromagnétique permet de voir comment un objet détecté dans une longueur d'onde est visualisable (ou pas) à travers une autre longueur d'onde, une autre échelle (voir Nazé, à paraître), etc. De ce point de vue, on pourrait déjà affirmer que l'astrophysique manipule facilement les traces des processus du ciel, puisque ces données deviennent des

data set disponibles par implémentation informatique à un nombre infini de visualisations, selon différents points de vue et angles de pertinence, un répertoire d'images utiles à modéliser d'autres réalités à venir. En tant que *data set*, l'image devient ainsi reconfigurable à partir d'un changement contrôlé de ses paramètres de visualisation, changement de perspective visant à l'exploration. Il ne s'agit donc plus d'une image, mais d'un *environnement virtuel* qui produit des modes d'actualisation possibles de données.

1.1 *L'image en astrophysique: la mosaïque temporelle*

Partons de l'astrophysique et de l'analyse spectrale, avec trois types d'images qui permettent d'envisager trois moments différents dans la construction des iconographies, et qui témoignent de trois manières de codifier visuellement les procès temporels.

Nous commencerons par la description des images-résultats, voire des images qui sont considérées comme des visualisations « finales », qui intègrent dans leur topologie plusieurs détections différentes de la lumière et qui composent ce qu'on a appelé « objet » – dans ce cas spécifique un objet astral. Nous poursuivrons avec des visualisations « partielles » des astres, visualisations qui dépendent d'un seul instrument de détection. Nous procéderons donc par démontage avec les images d'astrophysique, et par montage (de l'image qui recueille les premières données jusqu'à l'image finale) avec les images d'archéologie.

Comment faire pour connaître l'âge, le moment de la naissance et de la mort des astres? C'est à travers la collecte de la lumière selon les différentes longueurs d'ondes qu'on peut tenter d'identifier l'histoire d'un astre. Prenons le cas des nébuleuses, qui évoluent très rapidement, et considérons l'image de la *spirograph nebula* (photo 1), qui est un résidu des gaz éjectés par une petite étoile agonisante.

La consistance lumineuse du gaz fluorescent est la traduction en image des sauts des électrons sur des orbites d'énergie *supérieures* à celles qui sont identifiables par les longueurs d'ondes du spectre *visible*, dans ce cas *ultraviolettes*. La chute des électrons sur l'orbite inférieure produit une énergie dont la *différence de potentiel* est visualisée dans l'image par le

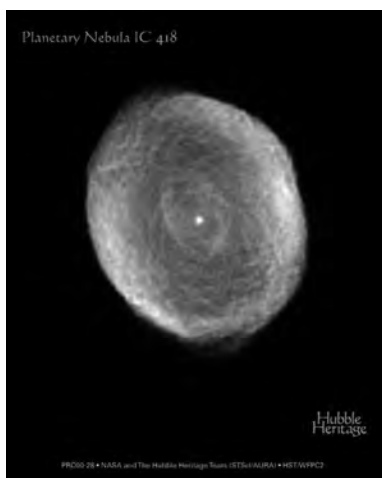


Photo 1. NASA et The Hubble Heritage Team. En ligne : <http://apod.nasa.gov/apod/ap021214.html> (page consultée le 8 octobre 2009) ¹⁰

biais de la différence chromatique qui va du rouge au bleu. Les régions les plus centrales de la nébuleuse, qui sont aussi les plus proches de l'étoile agonisante, sont les plus exposées aux rayons ultraviolets ; ici l'oxygène et l'azote sont excités au degré maximum et rayonnent dans le bleu, c'est-à-dire à travers des longueurs d'ondes courtes et de forte fréquence. Dans les régions le plus en périphérie, ce rayonnement ultraviolet est affaibli par l'absorption et parvient à n'exciter que l'hydrogène, qui réémet dans le domaine de la *lumière visible* de couleur rouge, ici la couleur du refroidissement. Dans l'image, le rouge et le bleu témoignent des deux moments extrêmes à l'intérieur desquels a eu lieu le processus de transformation de température. La durée de cette transformation de température entre les valeurs maximales de réchauffement et les valeurs maximales de refroidissement est codifiable en image par la différence chromatique entre le rouge et le bleu. On pourrait bien dire que la distance entre le bleu et le rouge, qui équivaut à la longueur du diamètre de la nébuleuse, et donc à une durée spatio-temporelle, montre la transformation du phénomène de son début à sa fin et de sa température maximale à sa température minimale. La topologie de l'image de cet astre, la distance et la modulation chromatique entre les deux couleurs opposées, qui sont tout à fait contrôlables et mesurables à travers des simulations,

mettent en scène des distances spatio-temporelles. Il ne s'agit pas, en effet, d'une relation semi-symbolique classique entre des termes catégoriels opposés, étant donné que l'image met en scène, d'une part, la *modulation tensive* entre les termes opposés de la catégorie chromatique sur le plan de l'expression et, d'autre part, le *processus de transformation*, et pas seulement les points de début et fin, sur le plan du contenu. Nous voyons ainsi que le rouge et le bleu ne renvoient pas de dates d'explosion, mais ils révèlent en image la transformation d'un objet. On voit donc que la profondeur spatio-temporelle du ciel peut être saisie et mesurée à travers la collecte de la lumière dans différentes longueurs d'ondes et à travers la mise en image, par codification chromatique, eidétique et topologique, des transformations chimiques et de températures. Par conséquent, on peut, grâce à l'image, lire le passé d'un objet astral. Mais on peut aussi, une fois intégrée la représentation de ces informations à la représentation d'autres étoiles appartenant à différentes « espèces » – chacune rendue à une étape différente de leur existence –, arriver à identifier des typologies et faire des hypothèses sur l'évolution et l'orientation future d'une transformation. À partir d'une image conçue par le biais de la codification chromatique, topologique et eidétique, on peut mesurer non seulement la transformation d'un état d'étoile à un état de nébuleuse, mais aussi le processus qui mènera cet astre jusqu'à sa mort, à savoir le moment où l'on ne pourra plus l'appeler « nébuleuse ». Déjà, à partir des fréquences de détection qui se révèlent pertinentes à la détection, on peut faire des hypothèses sur la durée des événements, étant donné que, à partir des zones du spectre sensibles à la détection, on peut prévoir les rythmes et les vitesses du développement de ces mêmes événements.

Ces types d'images ont pour fonction de rassembler les diverses captations obtenues et de s'offrir ainsi comme des informations sur l'identité des astres, à savoir des photographies non pas de ce que l'objet est au moment de la captation, mais de son histoire. Ce sont donc des images qu'on pourra nommer des *mosaïques temporelles* : elles sont construites par *sommation intégrée* des processus de

transformation de l'astre qui sont codifiés en des phases de la vie (naissance, développement, mort).

Cette image, on peut aussi l'appeler image finale d'un astre parce qu'elle peut être saisie comme la *transduction de plusieurs scénarisations* (les différentes détections selon des longueurs d'ondes différentes) qui permettent enfin une intelligibilité des transformations. La «clôture» ou la stabilisation iconographique de cette image intégrée se présente comme la *prestation fictive* d'une observation potentiellement interminable qui permet une *domestication* de l'investigation et, ainsi, l'institutionnalisation d'un objet.

1.2 Les images en série

Les visualisations qui mettent en scène non pas la traduction finale des détections, mais les différents moments de détection d'un même astre, à savoir le processus de constitution d'une image-mosaïque temporelle, problématissent le fait que les avancées technologiques qui permettent les différentes détections ne s'effectuent pas parallèlement à l'évolution chronologique des astres. Si l'on ne peut pas identifier la date de naissance ou de mort de certains astres, notamment, c'est parce qu'on n'arrive pas à *capitaliser* l'alignement des traces de lumière obtenues à travers les diverses captations par les différentes astronomies. Ainsi, en ce qui concerne les supernovas, il a fallu attendre les avancées techniques de l'astronomie X et gamma pour pouvoir fabriquer des mosaïques temporelles – comme on a pu en voir un exemple plus haut. La vie adulte d'une supernova est détectable à travers des longueurs d'ondes à basses fréquences comme celles du visible ou de l'infrarouge, mais sa naissance est détectable dans les rayons UV,

rayons X ou gamma, c'est-à-dire dans les observations astronomiques qui, seules, captent des phénomènes à des fréquences élevées – ce qui n'avait pas été possible jusqu'à très récemment. Chaque phase de la vie d'un astre, chaque processus qui a lieu en un certain laps de temps n'est captable que par certaines longueurs d'ondes. Il existe des astres dont on a pu obtenir l'histoire complète, et d'autres dont l'image-mosaïque attend encore des confirmations par d'autres détections superposables: très souvent, on n'arrive à dater la naissance d'un astre que longtemps après les premières observations de sa vie adulte. En effet, le moment de l'explosion/naissance est obtenu à travers des détections qui sont devenues fiables au cours des vingt dernières années. Les processus de la vie adulte de l'astre ont cependant été détectés il y a plus de quarante ans à travers les captations dans la longueur d'onde des rayons visibles. Les quatre images ci-dessous (*photo 2*) montrent le résidu de la supernova *Cassiopee A*.

La première est une image radio et la deuxième, une image optique; les deux dernières ont été obtenues par le télescope Chandra en rayons X à une distance de quelques années l'une de l'autre. À partir des restes de l'explosion qu'on obtient avec l'image radio, et la mesure de sa vitesse d'expansion obtenue grâce à la troisième image, en rayons X, les astrophysiciens ont pu faire l'hypothèse, à partir des théories de la relativité générale, qu'elle a dû exploser en 1680. Avec un nouveau dispositif du télescope Chandra, on a pu confirmer enfin ces hypothèses sur la date de l'explosion. La possibilité d'obtenir une bonne datation dépend ainsi de la synchronisation entre les événements du ciel et les avancées techniques.

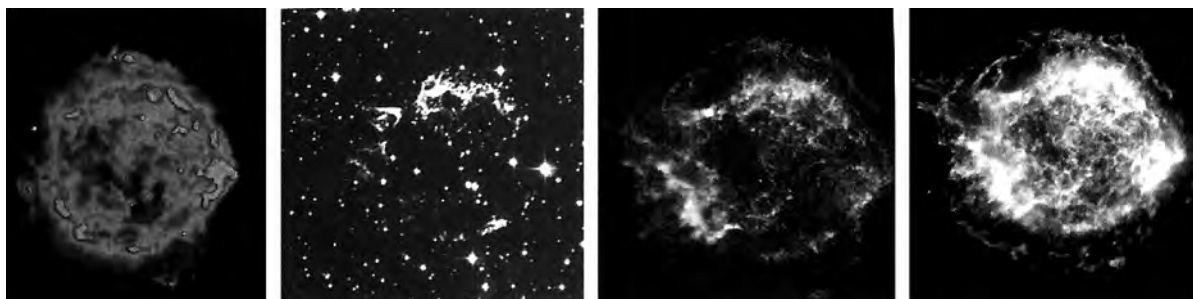


Photo 2. De gauche à droite: NRAO/AUI; MDM/R. Fesen; NASA/CXC/SAO; NASA/CXC/SAO.
En ligne: <http://chandra.harvard.edu/photo/1999/0237/> (page consultée le 8 octobre 2009).

Ces visualisations « partielles » montrent les processus qui amènent à fabriquer des images-mosaïques qui font la synthèse des divers moments d'observation et de détection; ces images, témoignant des moments d'observation différents, doivent se traduire mutuellement afin de composer une mosaïque qui stratifie toutes les phases de l'événement. Cette série de visualisations met en scène le rapport entre les différentes puissances des domaines de détection et l'effort progressif pour recueillir tous les éléments nécessaires pour la constitution d'une image finale et, enfin, d'un objet.

1.3. Les images-mesures

Si l'on peut considérer la première image (*photo 1*) comme une image composite, qui met en scène la sommation des données par superposition, et les quatre images en série (*photo 2*) comme des confirmations et des preuves mutuelles de l'observation à travers diverses méthodes de détection et en des temps différents, cette dernière image (*photo 3*), représentant la première localisation exacte d'un sursaut gamma en rayons X par le satellite Beppo-SAX, assume le statut antérieur d'épreuve, à savoir de construction visuelle qui est censée être exploitée, complétée et confirmée à travers d'autres images et d'autres calculs.

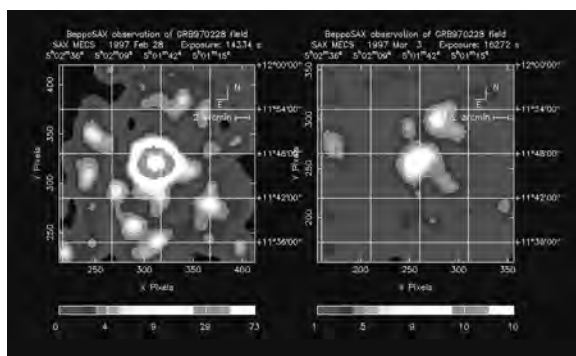


Photo 3. BeppoSAX/Team. En ligne : http://apod.nasa.gov/apod/image/9703/grb970228_sax_big.gif (page consultée le 8 octobre 2009).

Quand on veut calculer le moment de l'explosion d'une étoile qui a abouti à la formation d'un trou noir, l'image-mesure (*photo 3*) nous montre à quelle distance spatio-temporelle cette explosion a eu lieu par rapport à notre espace-temps. On obtient cette

distance en calculant la *différence d'intensité* d'émission de la lumière dans les différents domaines de longueurs d'ondes – des résultats gamma jusqu'aux résultats des astronomies, visible et radio, au cours d'un certain laps de temps. Par exemple, dans les cas de la formation des trous noirs, les champs gravitationnels provoquent une telle libération d'énergie que seul le domaine gamma peut la détecter. Mais l'astronomie gamma, faute de capteurs à haute définition pour détecter les sursauts, ne peut donner des informations sur les sources des explosions des astres et de la formation de trous noirs qu'en calculant la distance temporelle qu'il faut à ces sursauts pour devenir détectables par les autres longueurs d'ondes en tant que résidus. On doit donc attendre que les sursauts gamma refroidissent et deviennent visibles en rayons X après quelques heures ou, dans le domaine optique, après quelques jours et, dans le domaine radio, après quelques semaines. Cette image montre que la captation des sursauts résiduels en rayons X a permis d'identifier les astres à partir desquels l'explosion d'une étoile et la formation d'un trou noir ont eu lieu. L'écart entre le rouge et les autres couleurs met en évidence la distance entre la source de l'explosion et les sources de la détection : plus l'écart du rouge au bleu et au vert est important, plus la source est distante et plus notre regard vers le passé est puissant. Le rapport spatial, que la grille rend mesurable, entre le bleu et le rouge, montre la durée du refroidissement progressif du sursaut.

Cette image montre enfin la sensibilité relative des divers domaines de longueurs d'ondes à un même phénomène; on obtient ainsi la représentation de ce phénomène à travers la différence chromatique et la distance topologique entre deux couleurs, qui représentent l'espace-temps qu'il faut pour que les sources de l'événement parcourent tous les domaines de sensibilité du spectre, des ondes gamma aux ondes radio.

On peut aussi remarquer, avant de passer aux images produites en archéologie, que les trois cas pris en considération peuvent renvoyer à autant d'usages des images dans des genres discursifs différents. Le premier cas, la mosaïque temporelle, implique un régime iconographique accepté, stabilisé :

il s'agit d'une image finale et isolée, destinée à la vulgarisation, où la densité d'enchaînement entre les images est presque nulle. Dans le deuxième cas, au contraire, la séquence de visualisations de *Cassiopée A* appartient à un régime discursif qui prend en compte des avancées expérimentales et montre les ajustements d'une recherche en acte. La mise en scène des quatre détections indique les parcours pas toujours parallèles entre la progression chronologique de la vie d'un astre et les phases de la recherche scientifique. Dans le troisième cas, celui du mesurage du sursaut gamma, l'image montre un stade encore en amont: elle illustre les zones de frontière entre les différents processus qui vont constituer un événement, phases dont la constitution dépend encore une fois de différentes sensibilités à la lumière.

2. LA SUPERPOSITION DES IMAGES EN ARCHÉOLOGIE

Abordons à présent, bien que brièvement, les stratégies de fabrication des images en archéologie. L'image (*photo 4*), qui apparaît, en termes de syntaxe figurative¹¹, comme très semblable à la troisième image décrite dans le domaine de l'astrophysique, appartient à la prospection géophysique en archéologie, et plus précisément à la prospection électrique.

Cette méthode exploite une propriété physique, la résistivité électrique, afin de prélever des informations sur les structures du sous-sol. Cette propriété physique

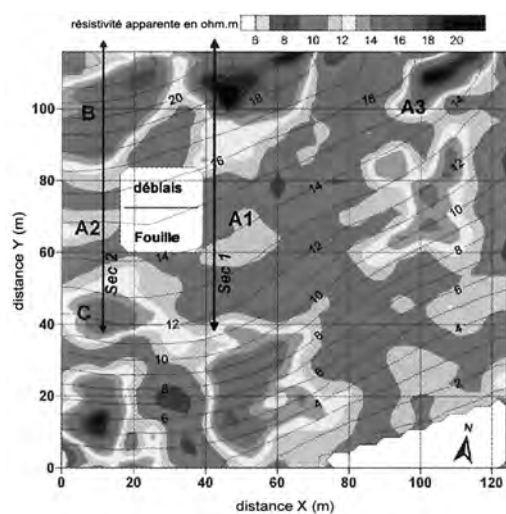


Photo 4. Bordeneuve à Beaugas, Lot-et-Garonne, 1988. Superposition de l'image électrique horizontale et de la topographie (Martinaud, 2005: 30).
Sous réserve de l'approbation des ayants droit.

permet de caractériser la difficulté que le courant électrique rencontre en traversant certains matériaux, comme les terrains argileux. On peut obtenir les mesures des résistivités électriques en injectant dans le sol un courant de faible intensité et de fréquence connue. Ce courant crée dans le sol un potentiel électrique variable dans l'espace mesuré; la *différence de potentiel* entre le courant injecté et la réponse des zones du sol donne les valeurs de la résistivité électrique. Voilà qu'on retrouve, dans les méthodes de la géophysique, ces stratégies de fabrication des visualisations qu'utilise une énonciation-exploration et dont Jacques Fontanille (2007) a décrit le fonctionnement pour l'imagerie médicale et pour la biologie. Plus précisément, cette énonciation-exploration permet de mesurer les zones de sensibilité d'un corps à certains phénomènes construits artificiellement en laboratoire. Ici, dans l'imagerie, l'actant de l'énonciation qui permet la fabrication des visualisations est non pas la lumière, mais un processus d'exploration induit artificiellement, se fondant sur des tensions entre excitation et relaxation de forces: certaines sensibilités sont excitées et les réponses à ces excitations mêmes sont exploitées pour produire des images, voire des images révélatrices¹².

Dans cette image, les différences chromatiques entre le rouge et le vert renvoient aux différences de résistivité électrique des diverses zones du sous-sol, et donc à la présence de structures plus ou moins profondes, plus ou moins dures, plus ou moins calcaires, plus ou moins bien conservées. Le contraste entre les propriétés physiques dans les différentes zones d'un même milieu permet de faire des hypothèses sur les structures présentes dans le sous-sol, sur leurs positions dans la profondeur et sur leur état de conservation. Le quadrillage que l'on voit sur l'image sert d'instrument de paramétrage: ce quadrillage est projeté sur l'image électrique et mesure la distance entre un point et celui de la zone prise en considération (à savoir la distance entre les électrodes présentes dans le sol). C'est grâce à ce quadrillage qu'on obtient des résultats interprétables et répétables.

Comme le montre cette autre image (*photo 5*), pour pouvoir déterminer le lieu de la fouille ou les endroits où il faut prendre d'autres mesures à partir d'autres

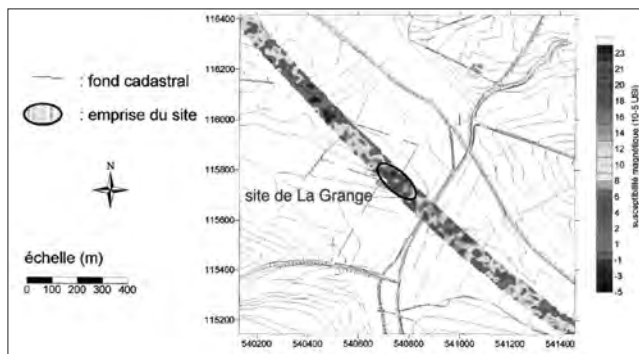


Photo 5. Site de la Grange, Haute Garonne. *Dossiers d'Archéologie*, n° 308 (Marmet et alii, 2005 : 38). Sous réserve de l'approbation des ayants droit.

méthodes d'investigation, il faut mettre en rapport les résultats de différentes résistivités électriques illustrées par les zones chromatiques avec d'autres formes de représentation, tel le fond cadastral.

La concentration du rouge indique une zone où les valeurs de la résistivité sont très élevées et suggère la présence de structures plus superficielles ou bien plus calcaires qu'aux alentours.

Dans d'autres images, on voit des stratégies représentationnelles différentes se superposant (fond cadastral et prospection électromagnétique, dessin 3D de la stratification des strates du sous-sol et photographie aérienne, etc.). Les superpositions les plus intéressantes pour notre comparaison sont pourtant celles qui mettent en relation les images-mesures de la prospection électromagnétique avec les images produites par la prospection aérienne. La prospection aérienne vise à étudier les anomalies du sous-sol à travers au moins quatre types d'indicateurs au sol¹³:

1. les indicateurs phytographiques, qui révèlent les anomalies de la végétation là où il y a des perturbations du sous-sol;
2. les indicateurs hydrographiques qui n'apparaissent qu'en présence de certaines situations climatiques, par exemple un orage;
3. les indicateurs pédographiques, dus aux différences de la couleur du sol qui révèlent les cultures anciennes;
4. les microreliefs qui sont visibles par une lumière radiante.

Quand on superpose les images produites par la prospection aérienne et celles de la prospection électromagnétique, on obtient des images comme la prochaine (photo 6), où l'hétérogénéité des méthodes de détection, au contraire de l'astrophysique, permet une *intravision diagrammatique*.

Dans des images comme celle-ci, on a affaire à deux syntaxes figuratives juxtaposées : l'intravision diagrammatique est justement un interstice entre deux systèmes de pertinence, entre deux régimes de regard. L'intravision diagrammatique est une forme de visibilité nouvelle produite par la transposition réciproque de deux régimes de pertinence perceptive et de la résultante de deux unités de mesure dont il faut trouver une commensurabilité. L'intravision diagrammatique est une vision interstitielle qui permet d'apercevoir une possible transponibilité de relations d'un système à l'autre. Cette commensurabilité envisagée est supportée, sur le plan de l'expression, par des réseaux de relations diagrammatiques qui se caractérisent de manière contrastive et qui permettent de construire, sur le plan du contenu, des valeurs différentielles. Mais il ne s'agit pas de simple isomorphisme entre les plans. L'intravision diagrammatique est, au contraire, dynamique parce qu'elle permet de reconstruire des *patterns* en évolution, voire saisir des syntaxes, à la fois sur le plan de l'énoncé (processus des événements et des objets observés) et sur le plan de l'énonciation (processus d'investigation).



Photo 6. Prospections magnétiques autour des palais de rois perses, superposées aux photos aériennes par le centre archéologique de Persepolis ; *Dossiers d'Archéologie*, n° 308 (2005 : 11). Sous réserve de l'approbation des ayants droit.

3. SUPERPOSITION INTÉGRÉE ET SUPERPOSITION DIAGRAMMATIQUE

Les images qui ont un statut d'épreuve (images-mesures) partagent la même syntaxe figurative en astronomie et en archéologie¹⁴, mais les images composites finales sont tout à fait différentes et c'est sur cela que nous voudrions porter notre attention pour avancer des conclusions.

Les images en astrophysique visent à sommer, superposer, intégrer – phagocytter presque – les traces; bref, à réduire l'hétérogénéité des captations dans une seule image, comme dans l'exemple de l'amas de galaxie (photo 7), qui montre très clairement comment l'image finale intègre les images provenant des différentes détections afin de stabiliser l'identité d'un objet. Cette image finale peut être à son tour traitée de nouveau avec des filtrages, des décompositions, des ajustements, et produire ainsi d'autres images et d'autres objets (image en tant que *data set*).

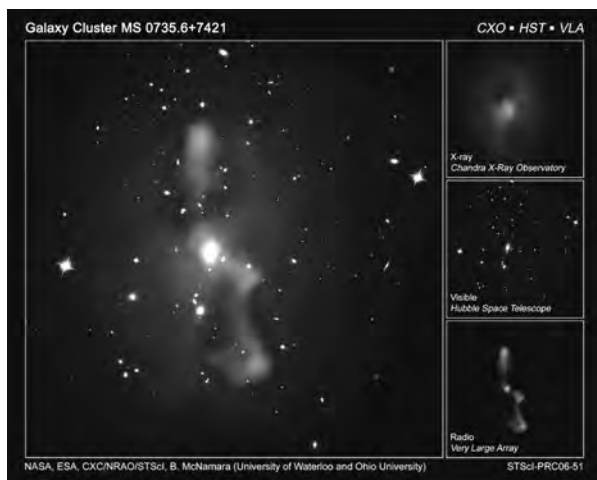


Photo 7. En ligne : <http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/2006/51/images/a/formats/print.jpg> (page consultée le 8 octobre 2009).

De la sorte, l'image d'un astre vise un double but: construire une bonne référence pour l'astre en question (autographie), mais aussi constituer une base de comparaison pour d'autres astres par le fait de composer et recomposer les relations entre processus temporels et captations lumineuses. Ces relations fournissent en effet des *modules* commensurables et superposables (allographie). En astrophysique, enfin, la « bonne » référence est moins confirmée par

l'invariance iconographique que par les manipulations qu'elle permet (filtrages, ajustements paramétrés, etc.), lesquelles peuvent s'avérer utiles pour la formulation de nouvelles hypothèses et découvertes. En astrophysique, comme dans beaucoup d'autres disciplines, plus une référence va *loin*, plus elle devient *efficace* (Latour, 1985), car elle est alors davantage *utilisable*. Cela se produit lorsque ses *modules* sont *articulables*: la fiabilité de la référence est coextensive du réseau de diffusion, de sa plasticité, c'est-à-dire – encore une fois – de la modularité permise par l'intégrabilité des différents systèmes de détection. La vérification/falsification d'une image est l'issue d'une confrontation entre les données captées dans une longueur d'onde et les données captées dans une autre longueur d'onde.

Dans cette image finale de l'amas de galaxie, tout se passe comme si les visualisations qui la composent possédaient une consistance « transparente » vis-à-vis des autres images (règles de notationnalité); le but final étant une superposition qui homogénéise les traces des captations différentes. Tout se passe comme si les visualisations partielles visaient à compacter, dans l'image finale, ce qui est dispersé dans l'univers – puisqu'il s'agit de construire des *simulacres de cohésion* de ce qui, en réalité, est diffus dans le temps et dans l'espace. L'image finale est toujours celle qui a assimilé toutes les mesures: c'est dire que le point d'arrivée de l'iconographie astronomique est l'*homogénéisation des traces*. Cette image a en fait comme objectif de *compacter* les processus différents de l'univers en une *mosaïque qui totalise et intègre les processus temporels en les transformant en des phases*: la naissance, la croissance et l'extinction d'un astre. Dans ces images finales, il s'agit de dater, par le biais d'une étude des *processus* (de transformation chimique, de température, de rotation, etc.), pour ensuite profiler des *phases* du développement de l'astre (naissance, explosion, extinction, etc.). Elles visent enfin à *transformer les processus en phases*, chaque phase permettant de synthétiser les processus et de les visualiser en tant qu'« unités d'objet ». Or, tout cela est loin d'être vrai pour l'iconographie de l'archéologie, où une mesure ou une méthode de détection n'est jamais intégrée ni totalement intégrable à l'autre. En archéologie, les images-mosaïques ne tendent

point à l'intégration des traces, ni à devenir des images-modèle pour une série d'autres investigations (allographie). Bien au contraire, elles mettent en scène l'hétérogénéité des méthodes de recherche (intravision diagrammatique), leur impossibilité de se recomposer en unité et de visualiser des unités d'objets : c'est bien la multiplication spatiale et le déploiement temporel que les images de cette partie de l'archéologie visent. Cette impossibilité d'homogénéisation permet non seulement une double ou une multiple vision du même événement (ce qui arrive aussi dans le cas de l'astrophysique), mais aussi et surtout une méta-vision, une vision nouvelle sur les possibles commensurabilités et incommensurabilités de points de vue. C'est la non-commensurabilité totale qui permet l'investigation dans le cas de l'archéologie, une investigation qui se fonde sur la dissimilation des traces.

Chaque image en archéologie doit montrer la diversité des méthodes de mise en relation des surfaces avec le sous-sol, ou des différentes parties du sous-sol; chaque méthode d'enquête met en scène un *processus d'exfoliation de quelque chose de compact*. Tout se passe comme si chaque système de captation et de représentation fonctionnait par «prélèvement successif» de toutes les couches stratifiées dont le sous-sol est constitué: les stratégies de captation et de représentation visent à dissimiler les stratifications. L'ensemble visuel, composé des résultats obtenus à travers les paramètres différents, met en évidence l'effort de porter au jour, à la surface, ce qui est en profondeur, enfoui, et d'extraire l'hétérogène là où il y a une homogénéité.

En somme, la fonction des images en archéologie est tout à fait différente de celle qu'elles assument en astrophysique: à partir de l'homogène et du compact, il faut parvenir à une exfoliation du sous-sol, en montrant toute la diversité. Chaque couche doit en montrer une autre, ou plusieurs autres, dont elle peut s'extraire: c'est par la dissimilation que l'on peut parvenir à voir et à opérer. C'est ce même processus que l'image est censée mettre en évidence.

POUR CONCLURE

L'astrophysique et l'archéologie présentent des images de deux types différents de *virtualité* de l'objet

de la perception: l'objet de l'astronomie nous est caché parce qu'il est trop diffus, lointain et distal; celui de l'archéologie, parce que sa stratification est trop compacte. Il s'ensuit que, en astrophysique, les images actualisent l'objet par des *assimilations qui compactent l'évanescence et qui visent justement la représentation de certains phénomènes en les transformant en une «totalité d'objet»*, et cela est possible à travers des plaques/modules du spectre qui sont commensurables; alors que, en archéologie, les images fonctionnent par dissimilation de ce qu'elles actualisent, c'est-à-dire par *dissimilation au sein d'une matière stratifiée et compacte*. En astrophysique, on opère par *superposition* et ajustement de modules et de stocks de lumières; en archéologie, par *différenciation* d'enveloppes et de pellicules des couches. Les hypothèses sur les temporalités doivent par conséquent être formulées à travers l'identification de la succession des hétérogénéités de ces enveloppes et pellicules.

Tout cela entraîne un rapport différent à la datation. En astrophysique, elle est basée sur un enregistrement des processus et, en archéologie, sur des mises en relation des couches et donc des phases du sous-sol. Ce n'est que par l'exfoliation des couches en profondeur, et donc des *phases* d'un territoire, qu'on peut reconstruire, en archéologie, des *processus* d'occultation et de formation de résidus. En astrophysique, c'est le contraire: on obtient une datation en traduisant *les processus en des phases*.

On voit bien que si le but de l'astrophysique est de visualiser des phénomènes en les représentant en tant qu'objets isolés, l'archéologie, s'appuyant sur les méthodes de la géophysique, vise la représentation non pas d'objets isolés, mais bien d'un «paysage» de forces qui peut révéler les rapports réciproques entre couches temporelles appartenant à différentes strates du sol. C'est seulement à l'intérieur d'«images-cartographies» (photo de fond de ciel comportant de multiples objets) – qui ressemblent plutôt à des catalogages visuels – que l'astrophysique produit des «paysages» d'objets qui permettent la visualisation des rapports temporels réciproques entre les objets et qui visent la représentation d'une totalité spatio-temporelle.

NOTES

1. Je tiens à remercier vivement la responsable du dossier, Catherine Allamel-Raffin, pour avoir lu et commenté cet article.
2. Bruno Latour donne un exemple de cette stratégie d'analyse lorsqu'il construit son montage photo-philosophique du sol amazonien de Boa Vista. Ici, l'enjeu est de suivre à la trace le processus de production des images : l'interprétation se trouve à mimer l'expérience productive des images. Voir à ce sujet B. Latour (2001), en particulier le chap. 2, « Sol amazonien et circulation de la référence ».
3. Charles Goodwin a écrit des pages très importantes à cet égard. Je ne signale ici que quelques articles parmi les plus importants (Goodwin, 1994, 1995, 1996, 1999). Voir aussi les travaux de Lorenza Mondada (2000, 2005, 2008).
4. En fait, une image peut assumer tantôt le statut de résultat de l'observation et du mesurage, tantôt le statut de preuve, ou bien d'épreuve (à savoir de construction hypothétique à vérifier grâce à d'autres séries d'images, d'équations, de calculs), tantôt le statut de résultat de calculs, d'addition et recombinaison des données, de stabilisation iconographique d'un phénomène, de prévision, etc.
5. De plus, il serait nécessaire d'analyser la manière dont les disciplines se « déclinent » dans les différents genres discursifs de la littérature scientifique : du discours de la recherche (les comptes rendus de laboratoire) jusqu'au discours des articles de vulgarisation. Les mêmes images peuvent en fait assumer des statuts très différents en passant d'un genre à l'autre (voir Dondero, 2007 et 2009c).
6. Pour une étude des pratiques d'investigation du sol par la vision et le toucher en archéologie, voir Goodwin (2000).
7. Sur l'icônicité, voir Bordron (2000, 2004) et, en ce qui concerne la stabilisation des objets scientifiques en image, voir Bordron (2009) et Dondero (2009a).
8. À ce sujet, voir Dondero (2009a). Pour une lecture peircienne de la production d'images en astrophysique, voir Allamel-Raffin (2004).
9. Il s'agit de procédures, non invasives, à inventaire, qui sont liées à une *chronologisation relative* qui vise à étudier la relation entre strates du sol et du sous-sol, à l'inverse de la méthode de la fouille, invasive, qui est liée à une *chronologie absolue* qui vise à faire correspondre des objets et des événements à des phases précises du passé. Pour plus de précisions à ce sujet, voir Dabas et alii (2006).
10. On invite le lecteur à visiter les différents sites Internet pour mieux comprendre les caractéristiques chromatiques des images reproduites dans cet article. Ces images de l'astrophysique sont libres de droits.
11. Entendons ici, par syntaxe figurative, la manière dont les formes s'inscrivent et se stabilisent sur un support. À ce sujet, voir Fontanille (2004).
12. À ce sujet, voir le n° 308 des *Dossiers d'Archéologie* (Collectif, 2005).
13. En ligne : <http://www.archeologie-aerienne.culture.gouv.fr/fr/> (page consultée le 8 octobre 2009).
14. Le rapport entre recherche et vulgarisation est très différent en astronomie et en archéologie. En effet, en archéologie, la vulgarisation n'est pas une véritable « traduction » des genres discursifs consacrés à la recherche, elle a une totale autonomie et ses sujets sont centrés sur la mythisation des grandes civilités et des célèbres personnages du passé.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLAMEL-RAFFIN, C. [2004] : *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse de doctorat, Strasbourg, Université Louis Pasteur.
- BORDRON, J.F. [2000] : « Catégories, icônes et types phénoménologiques », *Visio*, vol. 5 n° 1, 9-18 ;
- [2004] : « L'icônicité », dans A. Hénault et A. Beyaert (dir.), *Ateliers de sémiotique visuelle*, Paris, PUF, 121-154 ;
- [2009] : « Expérience d'objet, expérience d'image », *Visible*, n°5 (à paraître).
- COLLECTIF [2005] : « La prospection géophysique », *Dossiers d'Archéologie*, n° 308 ;
- DABAS, M., L. GUYARD L. et T. LEPERT [2005] : « Gisacum revisité. Croisement géophysique et archéologie », *Dossiers d'Archéologie*, n° 308, 52.
- DABAS, M., H. DELÉTANG, A. FERDIÈRE et C. JUNG [2006] : *La Prospection*, Paris, Éd. Errance, coll. « Archéologiques ».
- DASTON, L. et P. GALISON [1992] : « The Image of Objectivity », *Representations*, n°40, 81-128 ;
- [2007] : *Objectivity*, Cambridge (MA), Zone Books.
- DONDERO, M. G. [2007] : « Les images anachroniques de l'histoire de l'univers », *E/C*, revue de l'Association italienne d'études sémiotiques (AISS). En ligne : <http://www.ec-aiss.it/archivio/tematico/visualita/visualita.php> (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [2009a] : « L'image scientifique : de la visualisation à la mathématisation et retour », *Nouveaux Actes Sémiotiques*. En ligne : <http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=2907> (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [2009b] : « L'iconographie des fluides entre science et art », dans A. Beyaert-Geslin et M. Colas-Blaise (dir.), *Le Sens de la métamorphose*, Limoges, PULIM ;
- [2009c] : « Le rapport entre texte et image dans la littérature de l'astrophysique. Le cas des trous noirs », dans D. Banks, *L'image dans le texte scientifique. Journées de l'ERLA n°9*, Paris, L'Harmattan (à paraître).
- FONTANILLE, J. [2004] : *Soma et Séma. Figures du corps*, Paris, Maisonneuve et Larose ;
- [2007] : « Les systèmes d'imagerie scientifique. Questions sémiotiques », *E/C*, revue de l'Association italienne d'études sémiotiques (AISS). En ligne : http://www.ec-aiss.it/index_d.php?recordID=339 (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [2008] : *Pratiques sémiotiques*, Paris, PUF.
- GALISON, J. [2002] : « Images scatter into data. Data gather into images », dans B. Latour et P. Weibel (dir.), *Iconoclasm. Beyond the Image Wars in Science, Religion and Art*, Karlsruhe, MIT Press & ZKM, 300-323.
- GOODMAN, N. [1968] : *Languages of Art*, Indianapolis, Bobbs Merrill.
- GOODWIN, C. [1994] : « Professional Vision », *American Anthropologist*, vol. 96, n° 3, 606-633. En ligne : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/94prof_vis.pdf (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [1995] : « Seeing in Depth », *Social Studies of Science*, vol. 25, n° 2, 237-284. En ligne : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/95see_depth.pdf (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [1996] : « Transparent Vision », dans E. Ochs, E. A. Schegloff et S. Thompson (dir.), *Interaction and Grammar*, Cambridge, Cambridge University Press, 370-404. En ligne : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/96trans_vis.pdf (page consultée le 8 octobre 2009) ;
- [1997] : « The Blackness of Black: Color Categories as Situated Practice », dans L. B. Resnick, R. Säljö, C. Pontecorvo et B. Burge (dir.), *Discourse, Tools and Reasoning: Essays on Situated Cognition*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 111-140. En ligne : <http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/97black.pdf> (page consultée le 8 octobre 2009) ;

- [2000]: « Practices of Seeing: Visual Analysis. An Ethnomethodological Approach », dans T. van Leeuwen et C. Jewitt (dir.), *Handbook of Visual Analysis*, Londres, Sage Publications, 157-182. En ligne : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/00pract_see.pdf (page consultée le 8 octobre 2009).
- LATOUR, B. [1985]: « Les “vues” de l’esprit. Une introduction à l’anthropologie des sciences et des techniques », *Culture Technique*, numéro spécial, n°14, 5-29. En ligne : <http://www.bruno-latour.fr/articles/article/18-VUES-ESPRIT.pdf> (page consultée le 8 octobre 2009);
- [(1999) 2001]: *L’Espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l’activité scientifique*, Paris, La Découverte.
- MARMET, E. (en coll. avec L. Aubry, C. David et C. Bobée) [2005]: « Les occupations anciennes des sols », *Dossiers d’Archéologie*, n° 308, 38.
- MARTINAUD, M. [2005]: « Prospection géophysique et sites préhistoriques », *Dossiers d’Archéologie*, n° 308, 30.
- MONDADA, L. [2000]: « La construction du savoir dans les discussions scientifiques. Apports de la linguistique interactionnelle et de l’analyse conversationnelle à la sociologie des sciences », *Revue Suisse de Sociologie*, vol. 26, n° 3, 615-636;
- [2005]: *Chercheurs en interaction. Comment émergent les savoirs*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes;
- [2008]: « Production du savoir et interactions multimodales. Une étude de la modélisation spatiale comme activité pratique située et incarnée », *Revue d’Anthropologie des Connaissances*, vol. 2, n° 2, 267-289.
- NAZÉ, Y. [2010]: « Images de l’Univers, l’Univers en images », *Visible*, n° 6 (à paraître).
- RASTIER, F. [2001]: *Arts et Sciences du texte*, Paris, PUF.

LES FONCTIONS SÉMIOTIQUE ET HEURISTIQUE DES SYMBOLES CHIMIQUES OU DE L'ICÔNE AU SYMBOLE ET RETOUR¹

FRANCIS EDELINÉ

En parcourant la fresque décrivant le développement des notations chimiques depuis l'alchimie jusqu'à l'époque actuelle, il faut bien constater que l'alchimie n'est pas si lointaine et révolue qu'on se plaît à l'imaginer. Le chimiste d'aujourd'hui vit dans une sorte de musée qui sans cesse le renvoie, de façon subliminale, à un climat symbolique toujours actif. Celui qui, devant les potiquets disposés sur l'étagère poussiéreuse où Morandi les peignait, en leur donnant le nom équivoque de *Nature morte*, nous fait rêver à tout ce qu'on a pu y placer : onguents, parfums, drogues, potions, poisons... toute une chimie indéfinie et plus ou moins sulfureuse. L'usage familier de tout un vocabulaire spécialisé et traditionnel, fait de mots prononcés sans trop se préoccuper de leur origine, constitue un climat spirituel fortement imprégné par l'*alchimie* : fiole, matras, bain-marie, fermeture hermétique, alambic, eau régale, vitriol... Mais ce paysage mental est aussi à base de *mythologie grecque* : mercure, sélénium, saturnisme, irisation, uranium, niobium... ; de *folklore* : cobalt, nickel, titane... ; de *géographie* : Bleu de Prusse, germanium, polonium... ; de *renvois connotatifs* : chlore, vif-argent, tungstène... ; ou simplement d'*histoire des sciences* : pipette Pasteur, plaque de Pétri, bec Bunsen, Erlen-Meyer... Tout cela ne peut manquer de se refléter dans la notation.

Tout comme l'alchimiste, le chimiste d'aujourd'hui opère des transformations et travaille dans un laboratoire. Il a seulement renoncé au local contigu : l'oratoire. Contrairement au physicien ou au mécanicien, qui manipulent des objets macroscopiques, le chimiste travaille sur des entités inaccessibles directement aux sens : atomes et molécules, ce qui rend ses résultats mystérieux et quasi magiques.

Les systèmes humains de notation graphique sont extraordinairement variés et bien adaptés aux contenus à transmettre. Ainsi, il y a bien peu de points communs entre la notation musicale, les alphabets, la sténographie et les symboles chimiques. Néanmoins, tous ces systèmes ont en commun le fait d'être évolutifs, c'est-à-dire d'être sans cesse remodelés, soit pour remplir plus efficacement leur objectif, soit pour s'adapter à l'évolution de leur contenu.

Les alphabets et les partitions musicales ont à noter des contenus organisés de façon temporelle, alors que les symboles chimiques notent des substances, des entités, des structures statiques. En chimie, le mode de liaison entre le symbole graphique adopté et l'entité dénotée est très variable et a évolué au cours de l'histoire entre deux

des principales possibilités classiquement décrites : l'iconisme et la convention symbolique, aboutissant même à des formes hybrides tout à fait singulières.

Il est commode de diviser le panorama des notations (al)chimiques en trois périodes :

- I. l'alchimie ;
- II. Lavoisier, Berzelius, Dalton ;
- III. les notations contemporaines.

I. L'ALCHIMIE

L'alchimie n'est pas (ou pas seulement) cet insondable réservoir de mystères que beaucoup veulent y voir. Elle n'est pas non plus cette énorme supercherie ou cette illusion désolante que d'autres dénoncent. Elle n'est pas, enfin, un simple paravent à des activités illicites de faux-monnayeurs ou d'empoisonneurs. Je la vois comme une authentique démarche scientifique qui, vu l'époque, s'appuyait surtout sur l'observation et sur la spéculation, mais qui a beaucoup contribué à créer et à développer, non sans risques, cet outil scientifique nouveau, devenu principal aujourd'hui, qu'est l'expérimentation. Elle constitue une impressionnante tentative de mise en ordre du savoir technique.

Pour comprendre l'alchimie et son symbolisme, il faut se pénétrer des quelques grands principes considérés par elle comme évidents et indiscutables. Tout d'abord le signifiant et le signifié d'une image (abstraite ou non) sont considérés comme formant une seule entité fusionnée, le signe pouvant devenir un équivalent magique du signifié. Cette confiance totale en l'image sera à son comble dans le *Mutus Liber* (1677-1702), ouvrage constitué de 15 planches sans un seul mot.

Les quatre constantes de la pensée alchimique peuvent être résumées comme suit :

- l'univers manifeste une unité fondamentale ;
- un réseau étroit de correspondances assure cette unité ;
- les principes actifs sont en nombre réduit (2-3-4) ;
- le changement résulte de forces antagonistes agissant sur les substances.

On est aussitôt frappé par le fait que sont ainsi formulées, déjà, les idées qui animent encore la

science d'aujourd'hui, comme va le montrer un examen plus détaillé de chacune d'elles.

I.1 Unité – Simplicité – Constance

Postuler l'unité, la simplicité et la constance du monde mène à la recherche des « éléments » de ce monde. Le pythagorisme, qui était la théorie des nombres disponible à l'époque, se présente tout naturellement pour expliquer l'unité et la simplicité. La constance, quant à elle, est affirmée malgré l'observation des changements. Elle s'exprime dans le très beau symbole de l'Ouroboros (*fig. 1*) qui préfigure clairement nos concepts actuels de conservation (de la matière, de l'énergie) et de recyclage. Il est à remarquer que ce symbole est parvenu à synthétiser constance et changement, c'est-à-dire une conception statique et une vision dynamique. De tout temps, et encore de nos jours (Schummer, 2004), les chimistes se sont rangés en deux catégories : ceux qui considèrent leur art comme la science qui identifie et décrit les substances et ceux pour qui la chimie concerne plutôt leurs propriétés réactionnelles. Cette opposition entre substances et processus se retrouve pratiquement dans toutes les disciplines et traduit une grande constante de la cognition : les entités ne peuvent être identifiées que par leurs propriétés, mais les propriétés n'ont pas d'autre siège que les entités. En d'autres termes, elles se définissent l'une l'autre et il n'y a pas lieu de choisir.

I.2 Correspondances

Les correspondances proposées sont innombrables et traduisent une tendance compulsive à voir le monde comme un tissu de relations analogiques, plus ou moins hiérarchisées. L'une d'entre elles subsume toutes les autres et jouit d'un respect unanime : c'est la *Tabula Smaragdina*, attribuée à Hermès Trismégiste, et qui énonce « Ce qui est en bas est comme ce qui est en haut et ce qui est en haut comme ce qui est en bas ». La permanence de cette idée est visible dans cette image du Rajasthan (XIX^e siècle, *fig. 2*) qui montre la terre entre les mondes du haut et du bas, entre Macrocosme et Microcosme. Un des multiples symboles du mercure (*fig. 9*) dessine de façon très élégante cette union des deux mondes.

Garanties par cette correspondance grandiose, de nombreuses correspondances particulières sont alors avancées. Laszlo (2003) figure les principales dans un hexagone (fig. 3), mais il y en a bien d'autres encore. Les correspondances sont généralement fondées sur des analogies (plus rarement sur des contiguïtés) et jouent pleinement sur la symétrie de cette relation. Si la Nature (Macrocosme) est capable d'engendrer, en son sein, comme une mère, des gemmes et des métaux précieux, l'Homme (Microcosme) doit semblablement par son Art pouvoir obtenir des résultats identiques. L'analogie a donc valeur explicative, même si elle porte sur un signe. La version extrême de ce principe est l'acrostiche (voir fig. 4) qui extrait une maxime alchimique du nom d'une substance, le VITRIOL. Ce rôle central de l'analogie, ciment exclusif de la cohérence du monde, joue en reliant entre eux trois niveaux (Laszlo, 2003):

- le niveau des théories cosmologiques générales;
- le niveau des domaines particuliers et des substances;
- le niveau de l'art (Ars) imitant les processus macroscopiques.

Le cadre idéologique dans lequel se développe cette pensée est celui de l'aristotélisme, du platonisme et du néo-platonisme (Obrist, 2003). Il n'est donc pas étonnant que le symbole alchimique affiche et affirme déjà ces correspondances: on utilisera par exemple le même signe pour désigner la planète Saturne et le métal plomb (fig. 9).

I.3 Simplicité

La réduction du monde à un nombre limité de principes actifs est plus délicate à évaluer. Il semble difficile d'y voir une caractéristique du monde, car c'est plutôt une limitation de la pensée humaine. Le rasoir d'Occam, sous toutes ses formes, et son principe de parcimonie, continue d'accompagner notre réflexion comme un impératif. Pourtant, comme le soulignent brillamment Hoffmann *et alii* (1997: 9), cette simplicité ne concerne pas le monde lui-même, qui est ce qu'il est, mais seulement la conception que nous pouvons nous en former vu les limitations de l'esprit humain.

Quoi qu'il en soit, l'alchimie a systématiquement cherché à restreindre le nombre de principes actifs, en hésitant entre 2, 3 et 4, nombres déjà par eux-mêmes affectés d'une forte charge symbolique. Le nombre 7 intervient également, mais plutôt dans les inventaires (7 métaux, 7 planètes, 7 jours de la semaine, 7 merveilles du monde, 7 mers, 7 voyelles grecques...) que comme principe plasmateur.

Les alchimistes ont adopté la quadripartition qui caractérise le monde humain dans les conceptions anciennes. C'est non pas seulement dans la foulée d'Aristote qu'on la trouve, mais aussi dans toutes les civilisations. Elle semble résulter de la symétrie du corps humain (parmi une immense littérature [voir Christinger *et alii*, 1980: 13]). Quoi qu'il en soit les alchimistes ont élaboré un diagramme original et ingénieux (fig. 5) pour expliquer, ou justifier, simultanément la correspondance des 4 principes, des 4 éléments et de leurs 4 symboles. Cette figure très rationnelle montre tout d'abord que les 4 principes (chaud/froid et sec/humide) sont opposés par paires et n'existent pas à l'état pur: ils forment une matrice 2x2 dans laquelle chaque case combine nécessairement un élément de chaque paire:

	<i>Chaud</i>	<i>Froid</i>
<i>Sec</i>	<i>Feu</i>	<i>Air</i>
<i>Humide</i>	<i>Eau</i>	<i>Terre</i>

N'existant pas à l'état isolé, ils sont un peu, par rapport aux substances qu'ils animent, ce que sont les traits distinctifs vis-à-vis des phonèmes. Mais cette même figure justifie aussi la forme triangulaire retenue pour les symboles des 4 éléments (fig. 6), forme d'ailleurs surdéterminée par des aspects iconiques. Le triangle pointe en haut qui symbolise le feu est une image stylisée de la flamme. Le triangle pointe en bas symbolise l'eau par l'image métonymique d'un entonnoir ou du fond d'une coupe. La barre transversale de l'air et de la terre indique un poids supplémentaire. L'ensemble est parfaitement cohérent, symétrique et binaire.

Il est à peine besoin de rappeler que nous, chimistes d'aujourd'hui, continuons à concevoir notre discipline à travers de semblables dualismes, soit de catégories, soit de forces antagonistes: métaux/

métalloïdes, acides/bases, oxydation/réduction, anions/cations, aliphatique/aromatique, électrophile/nucléophile, minéral/organique, oxydes/anhydrides, etc.

Évidemment les alchimistes, qui n'avaient pas encore fait de distinction claire entre un corps pur et un élément², ne pouvaient poursuivre cette réflexion que par spéculation... une spéculation soucieuse malgré tout d'appliquer les grandes règles du carré.

Il devenait logique de considérer le monde comme issu de l'action de deux corps primordiaux, vus comme des essences ou des principes plus encore que comme des matières physiques. Le choix des alchimistes arabes s'est porté sur le *soufre* et le *mercure*, réduisant à deux les quatre éléments d'Aristote. Leur conjonction semblait en effet à même d'engendrer le monde entier puisque le soufre participe du chaud et du sec, alors que le mercure participe du froid et de l'humide. Or, le jeu des analogies fait aussi du soufre un élément actif et masculin, alors que le mercure est vu comme passif et féminin. Ils sont parfois métaphoriquement décrits comme l'épée et son fourreau. La sexualisation des composants de l'univers devait nécessairement apparaître et engendrer un vaste réseau d'analogies (la terre-mère, etc.) susceptible même de se combiner à l'opposition jour/nuit (le soleil et la lune, voir aussi plus loin Mars et Vénus). Ultérieurement, sous l'influence de Paracelse (1493-1541), un troisième terme fut adjoint: le *sel*, élément fixe et neutre, qui reste inchangé dans le feu. Par ce troisième terme, l'on complète une sorte d'axe sémantique vertical, au sens de Greimas, qui non seulement établit l'opposition fondamentale, mais indique le moyen de la « médier ».

Ces déterminations générales étant posées, on peut examiner plus en détail le répertoire des symboles alchimiques. On y découvrira non pas une organisation d'ensemble cohérente, mais seulement quelques sous-ensembles parfaitement structurés, ou des principes de codage tendanciels. Assez naturellement se fait jour une similitude avec les règles morphosyntaxiques qui régissent le langage. On peut distinguer trois groupes de symboles: pour les appareils, pour les opérations, pour les substances.

Les signes désignant l'*appareillage* seront tout naturellement en majorité iconiques et présenteront une image stylisée de l'appareil (fig. 7). De ce fait, ils ne donnent pas lieu à une grande inventivité. Tout autre est le cas des *opérations*, car il s'agit là de représenter un processus, ou un mouvement, par une image fixe (fig. 8). Les alchimistes avaient dénombré une douzaine d'opérations, dont un grand nombre sont toujours couramment pratiquées aujourd'hui: distillation sous reflux, cristallisation et recristallisation, sublimation, coagulation, précipitation, dissolution, calcination³...

La *sublimation*, qui est le passage direct de l'état solide à l'état gazeux (manifesté par l'eau sous certaines conditions, et aussi par le camphre), avait de quoi intriguer. Le signe employé, à la fois métaphore et emblème, était parfois un oiseau (Laszlo, 2003). Le plus souvent, cependant, on le représentait comme l'inverse de la précipitation, en orientant la boucle du symbole vers le haut ou vers le bas selon la direction physique évidente du processus. Le *broyage* aurait pu être représenté par l'image d'un pilon et d'un mortier, mais il a semblé plus parlant d'utiliser une spirale, soit la trace du mouvement imposé au pilon dans le mortier. Pour la *calcination*, on a retenu le signe du feu, avec en son centre le petit résidu qu'il laisse subsister.

L'examen du corpus des signes employés par les alchimistes pour désigner les *substances*, avec lesquelles et sur lesquelles ils travaillaient, est de loin le plus intéressant du point de vue sémiotique. En effet, à l'échelle macroscopique, ce sont des poudres, des liquides, des solides amorphes, des gaz, qui ne sont pas représentables iconiquement. Les figures 9 et 10 montrent la variété des méthodes d'appariement du signifiant au signifié. On peut en dégager les observations suivantes:

- a. le signe est à la fois un moyen mnémotechnique et une abréviation, une sorte de sténographie permettant de présenter des processus complexes sans avoir à se perdre dans des descriptions particulières;
- b. le signe a en même temps pour fonction de manifester, ou de rappeler visuellement, la vaste théorie anthropocosmique qui subsume les différentes facettes de l'activité des alchimistes

- (physique, psychique, magique, idéologique...). En effet, et c'est une différence capitale par rapport au code linguistique, cet aspect-là est *vu* mais non lu ni prononcé. Les signes alchimiques fonctionnent simultanément sur les deux plans, conjoignant les avantages des deux systèmes, et constituent donc d'authentiques signes intersémiotiques⁴;
- c. les signes sont, dans la plus grande mesure possible, motivés. Le signe graphique, imagé, est toujours préféré au signe alphabétique. On ne recourt à ce dernier que si aucune formule graphique suffisamment motivée et simple à tracer n'a pu être trouvée. La recherche du secret peut également avoir joué. Exceptionnellement, on trouve des signes hybrides (fig. 12);
 - d. souvent le signe d'une substance est motivé par la fonction qu'on lui attribue dans le système spirituel ou conceptuel des alchimistes, ou par les liaisons qu'on lui prête avec un processus analogue, plutôt que par les propriétés intrinsèques et objectives de ladite substance;
 - e. une correspondance biunivoque, terme à terme, n'a que rarement été réalisée: le même signe peut renvoyer à plusieurs corps distincts, et le même corps recevoir de nombreux signes différents (fig. 11), sortes de synonymes;
 - f. un souci de cohérence et de rationalité ressort néanmoins clairement de la syntaxe employée pour modaliser un signe donné, soit en le combinant à un autre signe, soit même en lui adjoignant des morphèmes sans existence indépendante (fig. 12 et 13);
 - g. sur le plan graphique, ont été exploitées pratiquement toutes les possibilités combinatoires: superposition, intersection, inclusion, tangence⁵.

II. LAVOISIER, BERZELIUS, DALTON

La pensée alchimique formait un tout très monolithique et peu évolutif. Partagée entre une spéculation philosophique ou spirituelle devenue dogmatique et l'expérimentation véritable, elle n'a pas pu incorporer facilement les acquis expérimentaux qui s'accumulaient au cours des siècles⁶. L'histoire laisse apercevoir plusieurs cycles caractérisés par une alternance entre un vif intérêt pour l'activité

expérimentale et sa désaffection au profit de la tendance spéculative et mystique. La *Grande Encyclopédie* du XVIII^e siècle reproduit encore les symboles des alchimistes, quoique en essayant de représenter certaines relations entre corps chimiques grâce à un nouveau dispositif: la mise en tableau. Le processus devait inéluctablement déboucher sur une rupture qui fut une véritable révolution. On s'accorde à en attribuer la paternité à Lavoisier et à Guyton de Morveau qui, en 1787, proposèrent une réforme de la nomenclature (Baudet, 2004:137). La révolution devint effective et définitive en quelques décades et son aspect le plus visible fut l'abandon des symboles de l'alchimie au profit d'une notation conçue comme neutre, c'est-à-dire libérée de tout *a priori* théorique, et censée laisser aux chercheurs toute liberté dans la conception de leurs expériences.

Le système définitif ne vit le jour qu'en 1814 dans la version mise au point par Berzelius (1779-1848). Le modèle choisi, inspiré tout naturellement du langage, a la forme d'un code à une lettre majuscule (l'initiale du nom de la substance: I pour iode) ou à deux lettres, une majuscule suivie d'une minuscule (pas nécessairement les deux premières: Co pour cobalt, mais Hg pour mercure, anciennement appelé hydrargyrum). Assorti de nombres décalés sur la ligne (d'abord en exposant, plus tard en indice), le système permettait une désignation économique, claire et univoque de toute substance, moyennant quelques règles additionnelles de syntaxe - qui, d'ailleurs, ont changé par la suite. C'est donc un langage construit, sans redondance, premier pas vers une représentation des corps chimiques par un système formel au sens logique du terme, plus proche d'un code que d'un langage par sa «bijektivité».

Inspiré par le langage et lui empruntant ses signes (*aucun* signe nouveau ne fut créé), le code de la chimie ne produisait cependant pas de noms. Les formules peuvent certes se lire et se prononcer (par exemple $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ = effe-é-deux-esse-o-quatre-trois-fois), mais le *nom* de la substance est «sulfate ferrique». La formule ne contient plus que des informations objectives, tirées des connaissances acquises sur les diverses substances. Elle se préoccupe avant tout de la proportion des divers composants, ici le fer, le soufre et l'oxygène.

Curieusement, cette abstraction non directive allait soulever des résistances et des critiques, résumées comme suit par David Knight (2003), qui parle d'«austérité lavoisienne»:

- on a «exalté la compréhension» mais en «déprimant l'imagination»;
- le symbole chimique est devenu une simple sténographie;
- le système qui a prévalu (Berzelius) est le moins suggestif parmi ceux proposés;
- le système est dépourvu de la redondance «si utile dans le langage»;
- le système est incapable de noter les processus.

Telle n'est pas l'opinion d'Ursula Klein (2001) qui démontre, faits à l'appui, que ce système a permis de significatives avancées entre 1820 et 1850 environ, notamment grâce aux travaux de Dumas. Elle voit dans les formules écrites, même si elles ne se prétendent pas une «image» des molécules, au sens iconique du terme, un puissant moyen d'affiner des raisonnements théoriques: ce sont des outils de papier (*paper tools*). Une part de leur efficacité provient justement de ce qu'ils restent abstraits et non directifs. On trouvera par exemple dans son étude la description des recherches de Dumas sur la production du chloral à partir d'alcool et de chlore: c'est en utilisant le système Berzelius que Dumas en vient à proposer le concept de substitution, appelé à devenir un concept-clé de la chimie moderne.

Les succès obtenus découlent essentiellement de l'incorporation de nombres dans la notation. Armés d'un puissant principe de conservation de la matière, les chimistes du temps, qui étaient des chimistes de la balance, pouvaient désormais quantifier leur travail: soit prévoir les quantités de produits issus d'une réaction donnée, soit déduire la formule des produits formés à partir de leur quantité. Il est donc logique que leurs équations utilisent le signe = et il est vain de leur reprocher une incapacité à noter les processus.

Les chimistes de l'époque, surtout préoccupés de stœchiométrie, n'avaient pas encore développé ce qui allait devenir la stéréochimie, mais ils ne s'en posaient pas moins la question de la disposition relative des atomes dans une molécule, et leur système

de notation reflète ce souci. La grande absente du système est, semble-t-il, la liaison chimique (le «crochet» des futurs «atomes crochus»). En fait, elle est indiquée autrement, et subtilement, en trois degrés:

- si deux symboles⁷ sont apposés, c'est qu'un lien les unit: KCl;
- si un atome est lié à un groupe d'atomes, cette distance supplémentaire est marquée par des parenthèses qui établissent ainsi une hiérarchie dans l'emboîtement des parties: Ca(HCO₃)₂;
- enfin, la présence d'eau de cristallisation (ou d'hydratation) est indiquée en la séparant par un point: Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O qu'on peut aussi écrire Al₂(SO₄)₃ · 18 aq (prononcer «aqua»).

Dans sa version la plus fruste, la notation se contente de faire l'inventaire quantitatif des atomes, sans aucunement les regrouper. C'est ce qu'on appelle une formule brute: par exemple le camphre = C₁₀H₁₆O. Il serait totalement erroné de penser que ce type de formule n'a plus aucun intérêt. Démonstration en est faite par la formule de la biomasse ou «biomôle» (Edeline, 1993) C₅H₇NO₂. Les biochimistes préoccupés de la nutrition et de la croissance des êtres vivants se sont demandé comment formuler une expression quantitative unissant des aliments chimiquement bien définis (des sucres, des graisses...) à une matière vivante d'énorme complexité. La réponse a consisté en l'analyse élémentaire de centaines de cultures (bactériennes surtout), qui s'est révélée remarquablement uniforme, et pouvait se traduire par une formule brute dans laquelle on donnerait la valeur 1 à un composant numériquement mineur mais néanmoins essentiel: l'azote. Sur cette base, la biomôle peut se formuler, avec une suffisante approximation, par C₅H₇NO₂. Comme dans la matière vivante, le rapport N:P (rapport des concentrations en azote N et en phosphore P) est constant; il n'est pas nécessaire d'inclure P dans la formule, ce qui maintient petits les coefficients. Cette formulation a rendu d'immenses services en prévoyant de façon quantitative les besoins métaboliques des biomasses industrielles. Exemple d'application:



Signalons encore une variante préconisée par les cristallographes et les minéralogistes, qui notent les minéraux naturels sous la forme d'oxydes, d'anhydrides et de molécules d'eau (cette dernière étant aussi, en dernière analyse, de l'oxyde d'hydrogène). Cela donne un système très cohérent mais avec lequel il faut se familiariser. Toutes les sous-entités sont séparées par des points :

Kaolinite (une argile) = $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Émeraude (une gemme) = $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$

L'idée sous-jacente⁸ était que ces substances, d'origine géologique ignée, ne pouvaient être qu'à l'état oxydé. De telles formules suggèrent néanmoins aussi une disposition spatiale, qu'exploite le cristallographe, et attirent doublement l'attention sur les proportions entre composants. On a voulu étendre ce type de notation à des substances autres que les minéraux naturels, mais sans réel succès, par exemple : $\text{Ca}(\text{OH})_2$ devait être noté $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$, et H_2SO_4 devenait $\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

On constate donc que la flexibilité du système est malgré tout assez grande, et que les reproches adressés au système de Berzelius sont très exagérés.

Il est cependant exact que d'autres systèmes étaient en compétition, en particulier celui de Dalton (1766-1844), instituteur à Manchester, chimiste autodidacte et fort inventif. Son système consiste à représenter tous les atomes (qu'il appelait « particules » ou « corpuscules ») par un cercle, en attribuant à ce cercle un diamètre correspondant à la dimension supputée de l'atome (fig. 14 et 15). L'atome était identifié par diverses formes tracées à l'intérieur du cercle : barres verticales ou horizontales, croix, zigzag, etc. On relève treize combinaisons de ce type, au-delà desquelles Dalton, pour éviter la confusion, a recouru à l'initiale du nom anglais de la substance. Ceci donne I pour *Iron* ou S pour *Silver* et peut engendrer des confusions pour un lecteur français, qui comprendrait iode et soufre. Ce problème de communication très réel n'a pu être surmonté que par un accord international, basé cette fois sur les noms latins (comme recommandé par Berzelius) : Sn de *stannum* pour étain, K de *kalium* pour potassium, Sb de *stibium* pour antimoine, etc. Le système de Dalton n'encourait pas

le reproche d'étouffer l'imagination : les figures 15 et 16 montrent au contraire qu'il la dirigeait un peu trop et menait à suggérer des configurations spatiales pour les molécules... malheureusement souvent erronées ou impossibles. Ce système, au grand dépit de son inventeur, ne s'est pas popularisé.

III. NOTATIONS CONTEMPORAINES

Les progrès rapides de la chimie, qui abordait désormais les molécules organiques, ont fini par faire apparaître de sérieux problèmes de notation. C'est seulement vers 1850 que la stéréochimie s'est développée et que ces insuffisances sont apparues. Des améliorations devenaient indispensables, et elles se sont révélées possibles.

III.1 Liaison chimique

La reconnaissance de la nature exacte des forces qui unissent les atomes rendait indispensable leur notation explicite et différenciée. La liaison chimique va se noter par un petit trait, qui s'écrit mais ne se prononce pas. Les doubles et triples liaisons se noteront par autant de traits parallèles⁹. Le fait que jusqu'à six liaisons peuvent aboutir au même atome a obligé à renoncer à la linéarité initiale pour recourir (dans un premier temps) à des graphismes à deux dimensions : nouveau trait visible mais imprononçable (voir la fig. 17 pour quelques exemples). La reconnaissance du caractère électronique des liaisons a aussi donné (fig. 18) des formules où les électrons sont représentés par de petits cercles ou de petites croix. On pouvait ainsi aisément vérifier si la structure possédait une enveloppe stable, constituée de paires ou d'octets, et si elle respectait l'électronéutralité.

III.2 Structures cycliques

Un problème resté célèbre, parce qu'il était rétif à toute transcription selon le système orthodoxe, est celui de la formule du benzène, résolu par Kekulé en 1865. Le nom de cette substance renvoie à son origine (le benjoin), ce qui peut être utile mais ne renseigne nullement sur sa configuration stérique. La figure 19 montre la formule brute du benzène, seule donnée indiscutable au départ. Elle montre ensuite diverses configurations suggérées¹⁰, la formule définitivement

acceptée, ainsi que plusieurs de ses notations équivalentes. On voit que seule une représentation bidimensionnelle permet de comprendre cette structure, encore que l'écriture contraigne à placer les doubles liaisons en des endroits déterminés alors qu'on sait qu'elles n'ont pas de localisation préférentielle... Toute la chimie des molécules dites *aromatiques* découle de cette découverte.

III.3 Distinction des isomères

Un second problème se montra insoluble même par ce qu'on a appelé des « formules déployées planes » : celui des énantiomorphes. Le cas le plus simple, et qui apparut le premier (en 1870), est celui de l'acide lactique (fig. 17). L'atome de carbone, supposé au centre d'un tétraèdre, permettait deux et seulement deux configurations qu'il importait de distinguer. Il a fallu pour cela établir de nouvelles conventions graphiques inspirées des règles de la perspective (Baudet, 2004 : 200), et qui permirent de représenter la troisième dimension. Elles s'énoncent comme suit :

- les liaisons chimiques de la partie frontale (proximale) d'une molécule sont représentées en traits épais ;
- les liaisons de la partie lointaine (distale) sont en traits minces ;
- les liaisons entre un atome situé en avant du plan de la figure et un autre situé sur ce dernier sont représentées par un triangle effilé noir, dessiné comme s'il était vu en perspective ;
- pour les liaisons entre un atome situé sur le plan de la figure et un autre situé derrière ce dernier, on adopte la même convention mais avec un triangle effilé blanc (parfois on lui préfère un trait tireté : système *wedge-dash*).

Ce système est hybride dans la mesure où il conserve les notations alphabétiques : chacune d'entre elles condense le renvoi à un atome, sans expliciter aucune de ses caractéristiques.

La question des énantiomorphes n'était pas, elle non plus, anodine. Ils peuvent avoir un comportement optique opposé (déviation du plan de polarisation de la lumière), et il arrive qu'un seul de ces isomères soit présent dans la matière vivante.

Dans le but de faciliter encore l'exploitation heuristique des modèles représentatifs, on a mis en circulation des « modèles physiques », faits de boules colorées de diamètre variable, de tiges et de ressorts ajustables. Leur description sort du cadre de la présente étude, de même que celle des configurations obtenues aujourd'hui par CAO (conception assistée par ordinateur), et qui peuvent s'attaquer à des molécules aussi complexes que des protéines ou des ADN, en précisant même leurs enroulements les plus probables.

IV. CONCLUSIONS

L'évolution globale ci-dessus retracée accuse un mouvement pendulaire par lequel on est passé d'une notation à caractère iconique ou motivé très marqué à un système parfaitement biunivoque et symbolique (au sens peircien du terme), pour revenir à une réintroduction de plus en plus large de l'iconisme. Les trois phases partagent le même souci sémiotique : désigner les corps chimiques par des signes, mais leur qualité heuristique est totalement différente, et même opposée. En effet, il ne s'agit pas du même iconisme. Celui de l'alchimie peut être qualifié d'illustratif car ses images illustrent une théorie préexistante, en grande partie spéculative, que l'on se contente de confirmer à travers les signes. La seconde phase se veut dépourvue d'iconicité, ce qui lui a permis, presque paradoxalement (comme l'a brillamment montré U. Klein, 2001a et b) d'asseoir la chimie sur des bases quantitatives et descriptives plus fermes. Quant aux perfectionnements successifs apportés ultérieurement aux formules berzéliennes, on a vu qu'ils portent essentiellement sur la représentation de la seconde puis de la troisième dimension, dans le but de fournir des images de plus en plus satisfaisantes de la configuration spatiale des molécules. Mais s'agit-il vraiment d'iconisme ? Ces signes seraient iconiques de quoi ? Personne n'ayant jamais *vu* une liaison chimique, il ne peut y avoir ressemblance vérifiable entre une molécule et le signe qui la représente. On dira plutôt que ces signes représentent nos *hypothèses interprétatives*, de façon visuelle et selon des conventions d'écriture. On conçoit en effet qu'une liaison chimique ne peut avoir qu'un lointain

rapport avec un petit segment de ligne droite, et des représentations plus fidèles à ce qu'on sait de leur nature physique mènent à des tracés comme ceux de la figure 20. Pour sa part, Schummer (1996) estime que la notation chimique n'est ni conventionnelle (symbolique), ni indicielle, ni iconique: il revendique pour elle un quatrième régime, spécifique, qu'il nomme *Strukturzeichnungen* et qui s'exploite par une *interprétation analogique*.

Laszlo (2000a) résume fort bien les trois positions possibles: on peut raisonner sur des textes, sur des concepts ou représentations mentales, ou sur des modèles. La possibilité heuristique d'assister la recherche en travaillant sur des modèles visuels, en vue de planifier des expériences cruciales ou d'éviter des démarches inutiles, a fait l'objet de nombreuses réflexions récentes (Hoffmann et Laszlo, 1991; Schummer, 1996; Del Re, 1998; Weininger, 1998; Mainzer, 1999; Francœur, 2000; Laszlo, 2000a; Ramberg, 2000; Zeidler, 2000). Les chimistes semblent se partager en adversaires et en partisans des modèles matériels, et ce débat n'est qu'un aspect du débat plus général sur la nature du réel. Comme selon toute vraisemblance, celle-ci nous restera à jamais inconnaissable, il semble logique de se résigner à raisonner sur des modèles qu'on s'en fait, à condition de rester conscients que ce ne sont que des modèles, d'éviter de leur accorder une valeur ontologique, et de se méfier de considérations *esthétiques* (dont le rasoir d'Occam) qui n'ont rien à voir avec la problématique.

La fonction heuristique des signes consiste à permettre un aller-retour constant entre les signes et l'expérimentation, dans un mouvement qui n'est pas sans rappeler le binôme assimilation/accommodation de Jean Piaget.

NOTES

1. La présente étude concerne la chimie en tant que système de signes. Par conséquent, on n'y trouvera pas un aperçu historique de la filiation des idées ou des découvertes. Par contre, pour expliquer certains signes, il sera souvent nécessaire de faire appel au symbolisme spirituel ou mythologique sous-jacent, ce qui aura pour inconvénient d'obliger à utiliser conjointement le mot *symbole* dans ses deux sens. Nous appellerons *symbole peircien* une association conventionnelle et arbitraire entre signifiant et signifié. Dans les autres cas, il s'agira

d'associations libres (analogiques le plus souvent) toujours pensées comme impliquant des liaisons motivées profondes et universelles.

2. Pas plus qu'entre mélange et combinaison et, *a fortiori*, entre atome et molécule.

3. Plusieurs de ces opérations sont plutôt physiques que chimiques, mais là non plus la distinction n'était pas encore clairement faite... et d'ailleurs, cette distinction s'estompe à nouveau aujourd'hui.

4. Pour une première présentation de ce concept, voir Edeline (1999). Un ouvrage détaillé sur le sujet, couvrant la blason, le mandala, le poème sémiotique, le tatouage, le rébus, l'alphabet figuré, le monogramme, le calligramme, etc., est en préparation.

5. Ce sont exactement les mêmes que l'on retrouve dans l'élaboration d'un autre corpus intersémiotique: les monogrammes (Edeline, 2006).

6. Neuf siècles approximativement.

7. À partir de maintenant, le mot symbole désigne une convention pure.

8. Héritée de la théorie dualiste en vigueur au début du XVIII^e siècle (Baudet, 2004:166).

9. Le trait a même pu être pointillé, comme dans la théorie de la valence partielle de Thiele.

10. Au cours de discussions souvent âpres, comme le différend entre les chimistes Berthelot et Kekulé (XIX^e siècle).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAUDET, J. [2004]: *Penser la matière*, Paris, Vuibert.
- CHRISTINGER, R., J. ERACLE et P. SOLIER [1980]: *La Croix universelle*, Paris, Dervy Livres.
- DEL RE, G. [1998]: «Ontological status of molecular structure», *HYLE* (International Journal for Philosophy of Chemistry), vol. 4, n°2, 81-103.
- EDELINE, F. [1993]: *L'Épuration biologique des eaux*, Paris, Lavoisier;
- [1999]: «L'Intersémiotique», dans J. Bernard et G. Withalm, *Sémiotes dans les systèmes complexes*, 7^e Congrès de l'Association internationale d'études sémiotiques, Université de Technologie de Dresde;
- [2006]: «Le monogramme et le conflit des codes», dans M.G. Dondero et N.N. Paglianti (dir.), *Syncretismes*, Limoges, PULIM, 33-64;
- FRANCOEUR, E. [2000]: «Beyond dematerialization and inscription – Does the materiality of molecular models really matter?», *HYLE*, vol. 6, n°1, 85-97.
- HENDRY, R.F. [1999]: «Molecular models and the question of physicalism», *HYLE*, vol. 5-2, 143-160.
- HOFFMANN, R. et P. LASZLO [1991]: «Representation in chemistry», *Angewandte Chemie International Ed. in English*, vol. 30, n°1, 1-16.
- HOFFMANN, R., V.I. MINKIN et B.K. CARPENTER [1997]: «Ockham's razor and chemistry», *HYLE*, vol. 3, n°1, 3-28.
- KLEIN, U. [2001a]: «Berzelian formulas as paper tools in early nineteenth-century chemistry», *Foundations of Chemistry*, vol. 3, 7-32;
- [2001b]: «Paper tools in experimental cultures», *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 32, n°2, 265-302.
- KNIGHT, D. [2003]: «Exalting understanding without depressing imagination», *HYLE*, vol. 9, n°2, 171-189.
- LASZLO, P. [2000a]: *Miroir de la chimie – Le camphre et sa formule*, Paris, Seuil, coll. «Science ouverte»;
- [2000b]: «Playing with molecular models», *HYLE*, vol. 6, n°1, 85-97;
- [2003]: *Qu'est-ce que l'alchimie?*, Paris, Hachette, coll. «Littératures».
- LIUNGMAN, C. [1991]: *Dictionary of Symbols*, Santa Barbara (CA), ABC-Clío.
- MAINZER, K. [1999]: «Computational models and virtual reality – New perspectives of Research in Chemistry», *HYLE*, vol. 5, n°2, 117-126.

MESTRALLET-GUERRE, R. [1981]: *Communication, linguistique et sémiologie – Contribution à l'étude de la sémiologie des systèmes de signes de la chimie*, Barcelone, Universitat Autònoma, Facultat des Lletres.
 OBRIST, B. [2003]: «Visualization in medieval alchemy», *HYLE*, vol. 9, n°2, 131-170.
 RAMBERG, P.J. [2000]: «Pragmatism, belief, and reduction – stereoformulas and atomic models in early stereochemistry», *HYLE*, vol. 6, n°1, 35-61.
 READ, J. [1959]: *De l'alchimie à la chimie*, Paris, Arthème Fayard.
 SCHUMMER, J. [1996]: «Zur Semiotik der chemischen Zeichensprache: Die Repräsentation dynamischer Verhältnisse mit statischen Mitteln», dans P. Janich et N. Psarros (dir.), *Die Sprache der Chemie*, Wurtzbourg, Königshausen & Neumann, 113-126;

— [1998]: «The chemical core of chemistry I: A conceptual approach», *HYLE*, vol. 4, n°2, 129-162;
 — [2004]: «Substances versus reactions», *HYLE*, vol. 10, n°1, 3-4.
 WEININGER, S.J. [1998]: «Contemplating the finger: Visuality and the semiotics of chemistry», *HYLE*, vol. 4, n°1, 3-27.
 WU, H.-K., J.S. KRAJCIK et E. SOLOWAY [2000]: «Using technology to support the development of conceptual understanding of chemical representations», dans B. Fishman et S. O'Connor-Divellbiss (dir.), *Fourth International Conference of the Learning Sciences*, Mahwah (NJ), Erlbaum, 121-128.
 ZEIDLER, P. [2000]: «The epistemological status of theoretical models of molecular structure», *HYLE*, vol. 6, n°1, 17-34.

• FIGURES 1 À 20 •



Figure 1. *L'Ouroboros*
 Symbole de l'unité fondamentale et de la conservation de la matière.



Figure 2
La correspondance universelle

La terre entre les mondes
 du haut et du bas (Rajasthan, XIX^e s.),
 Macrocosme et Microcosme.

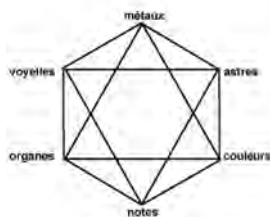


Figure 3. *Les correspondances particulières* (d'après Laszlo, 2003)



V
i
s
i
t
a
I
n
t
e
r
i
o
r
a
T
e
r
r
e
R
e
c
t
i
f
i
c
a
n
d
o
I
n
v
e
n
t
u
r
a
O
c
c
u
l
t
u
m
L
a
p
i
d
e
m

"Visite l'intérieur
 de la Terre, et par
 Rectification tu
 découvriras la
 Pierre cachée"

7 lettres = 7 sublimations

Figure 4. *Stolcius (1624)*: acrostiche de VITRIOL

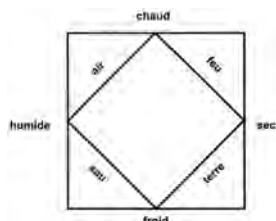


Figure 5. *Le système des éléments* (Liungman, 1991)

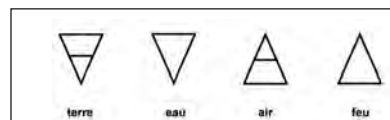


Figure 6. *Les quatre éléments*

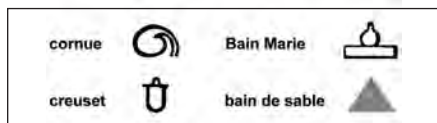


Figure 7. Quelques symboles alchimiques courants. Les appareils.

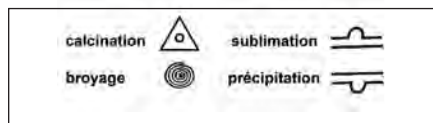


Figure 8. Quelques symboles alchimiques courants. Les opérations.

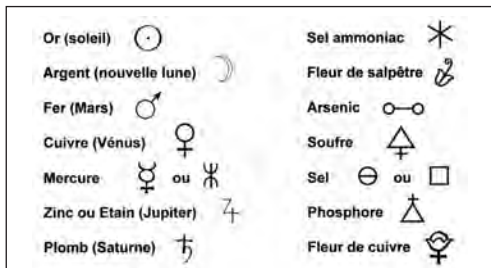


Figure 9. Quelques symboles alchimiques courants. Les substances.

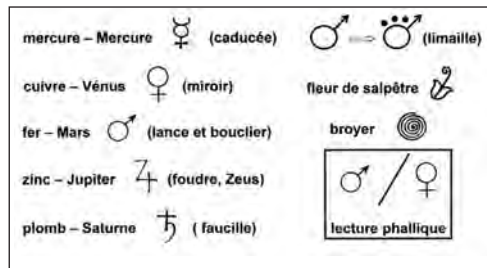


Figure 10. Exemples de motivation des signes : iconisme, métonymie, emblème...

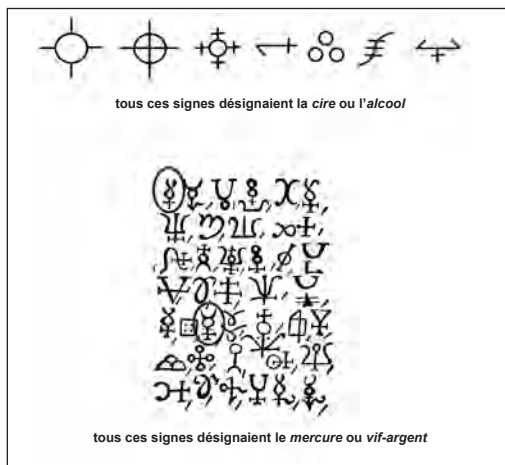


Figure 11. Absence d'univocité des notations alchimiques.

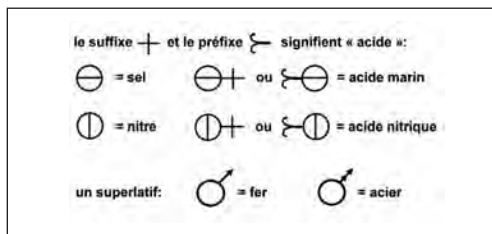


Figure 13. Existence de morphèmes.

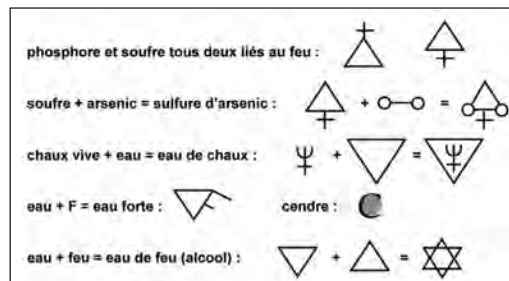


Figure 12. Syntaxe graphique (parfois hybride!).

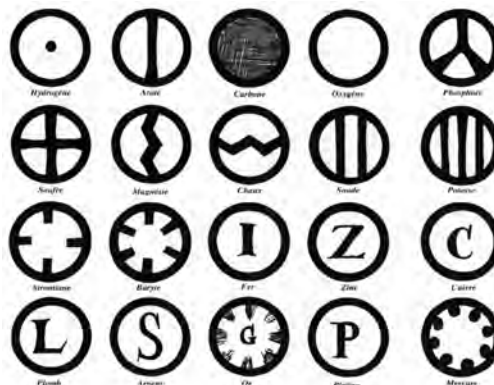


Figure 14. Symboles chimiques selon Dalton (1806).

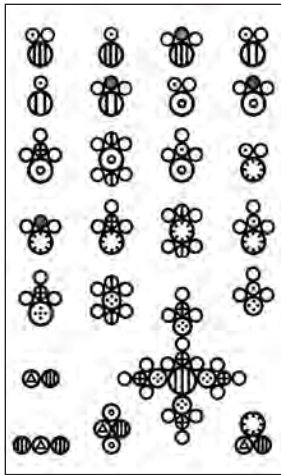


Figure 15. Dalton

Schémas proposés pour la configuration de différents corps :

- en haut à gauche KOH (potasse caustique)
- en haut à droite NaOH (soude caustique)

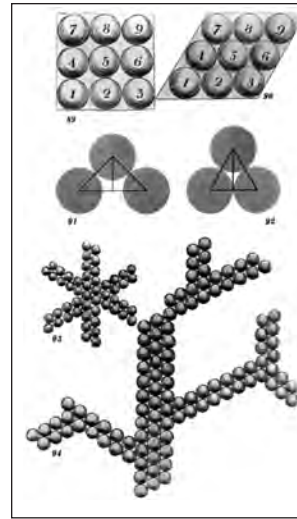


Figure 16. Dalton

Exemple d'utilisation heuristique d'une syntaxe iconique. Suggère une explication

- de la fluidité de l'eau par rapport à la glace
- de la structure hexagonale du cristal de neige.

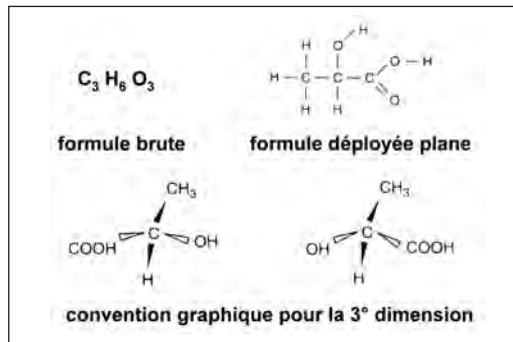


Figure 17. Problème de l'acide lactique (1870 sq).

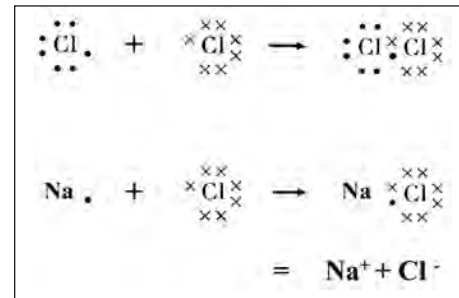


Figure 18. Théorie électronique de la valence le doublet et l'octet (apparition de l'hybridité).

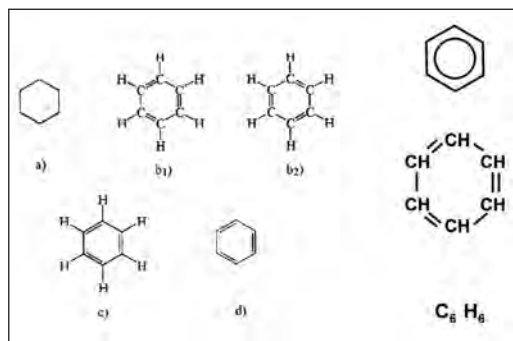


Figure 19. Problème de la représentation du benzène.

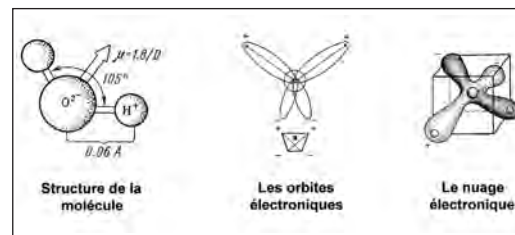


Figure 20
Quelques représentations contemporaines de la molécule d'eau.

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE, L'ÉCHELLE, LE POINT DE VUE

ANNE BEYAERT-GESLIN

INTRODUCTION

L'étude de l'image scientifique ouvre de vastes perspectives à la sémiotique visuelle. D'un côté, elle permet de reformuler des questions qui, si elles n'étaient mises en relation avec les genres et les statuts, risqueraient de rester confinées dans la généralité et l'approximation. Elle révèle plus précisément que la signification d'une image est nécessairement déterminée par une pratique et accessible à une communauté précise: à chaque pratique scientifique, correspond un usage signifiant des images. D'un autre côté, le fait qu'elle interroge les limites du visible l'amène à problématiser la question de l'iconicité. Elle dévoile ainsi l'instabilité des phénomènes, les aléas de leur inscription et les exigences de leur transformation en une forme stabilisée et identifiable. Sur ce point, la photographie aérienne s'avère particulièrement intéressante et, par la projection de grandeurs extrêmes, engage à reconsidérer les questions de *point de vue* et d'*échelle*. Selon la distance du point de vue, l'inscription des phénomènes est en effet différente et stabilise une forme plus ou moins identifiable. Une nouvelle présence iconique se construit, dont les paramètres suivent une transformation graduelle mais subissent aussi des sauts qualitatifs qui mobilisent différents niveaux de sens.

Pour commencer, la distance opère une transformation épistémologique, la modification de l'apparence de l'objet induisant le renouvellement de l'instance d'observation. Il faut aussi tenir compte des exigences particulières des usages sociaux qui imposent que ces inscriptions de phénomènes soient non seulement stabilisées, mais aussi suffisamment identifiables pour être partagées et « pratiquées » dans la communauté qui en fera usage.

Notre étude se consacrera aux questions de point de vue et d'échelle. Elle s'attachera à divers corpus correspondant à des « versions différentes d'un seul et même monde neutre et sous-jacent » (Goodman, 2006: 40) qui, établissant des règles de corrélation différentes entre les valeurs au sens terrestre, telles qu'elles sont consacrées par les routines perceptives, et les valeurs au sens céleste, construisent des objets de sens distincts.

LES VARIATIONS DU POINT DE VUE

En toute première approximation, les photographies prises à partir du ciel se laissent décrire comme des *images construites* pour autant qu'elles sont des

orthophotographies. Projeter l'objet courbe qu'est la surface terrestre sur les deux dimensions d'une image oblige en effet à homogénéiser l'échelle au moyen d'une correction focale obtenue par projection de la hauteur sur la largeur du plan. Or, dès l'abord, cette orthocorrection introduit des variantes dans l'image en fonction de son destinataire, ses paramètres différant selon qu'elle relève de la communication scientifique ou de la vulgarisation. Lorsque le destinataire est un scientifique, l'image pratique l'orthocorrection mathématique et soumet le monde naturel à sa visée géométrique; lorsqu'elle s'adresse au grand public, elle reste en revanche au plus près de la perception du piéton qui pourra ainsi confronter ces données nouvelles à son expérience quotidienne. Ces pratiques et ces destinataires distincts correspondent à deux acceptions de l'exactitude cartographique telle que la définit Bertin (1998). Elles instaurent des rapports différents à la vérité qui n'excluent pas un certain paradoxe, puisque l'image la plus correcte au sens de la géométrie s'avère la plus déroutante lorsqu'elle est rapportée aux usages de la perception et apparaît donc comme la moins *réaliste* au sens de Goodman (1968). La vérité mathématique s'oppose à la vérité perceptive.

À l'orthocorrection, premier critère de construction du plan de l'expression, s'ajoute celui de la distance qui décline trois familles de photographies selon la grande, la moyenne ou la faible altitude. Les photographies les plus distanciées sont prises à partir des satellites; celles qui empruntent les distances et échelles moyennes sont des vues d'avion. Cependant, loin de se résumer à une question d'instrument conditionné par la distance, une telle distinction implique un accès différent au visible. Lorsque l'altitude est très faible, l'hypothèse d'une *perspective à vol d'oiseau* peut en effet laisser place à une *perspective en hauteur* qui situe le point de vue, non pas au-dessus de la surface terrestre, mais au niveau de sa plus grande élévation. Si leur hypothèse topologique semble offrir une plus grande diversité d'images (*perspective à vol d'oiseau* ou en hauteur), les vues d'avion peuvent également être considérées comme plus précises parce qu'elles accèdent au visible comme à l'invisible et peuvent associer «couleurs

vraies» et «couleurs fausses». En effet, confrontées à la perception directe et au monde visible, elles utilisent les «couleurs vraies» conformes à notre expérience du monde naturel; cependant, un dispositif infrarouge peut permettre de repousser les limites du monde visible par la projection de «fausses couleurs» qui viendront affiner la distinction entre les zones humides et sèches, par exemple. À plus grande distance, la seule possibilité de percevoir, d'enregistrer et de stabiliser les inscriptions des phénomènes en une forme identifiable¹ est donnée par la lumière infrarouge. L'image est alors prise à partir d'un satellite et s'obtient par une conversion des données sensibles en données chromatiques. Ces valeurs, qui peuvent tout aussi bien restituer des données thermiques qu'hydrométriques ou restituer un objet invisible à l'œil nu (la longueur d'onde de ces couleurs se situe au-delà et en deçà de 0,4 et 0,8 μ^2), se transforment alors en un plan d'expression constitué par superposition de différentes couches de «couleurs fausses».

Ainsi esquissée, cette typologie construite sur la notion de distance fournit plusieurs critères de construction du plan de l'expression. En effet, si la distance détermine les limites du monde visible, elles-mêmes présidant au choix de couleurs dites «vraies» ou «fausses», elle introduit un second axe sémantique, le rapport au vivant ou à l'animé. À faible distance, l'échelle humaine reste valide et peut accompagner certaines manifestations de la vie organique, suivre le déplacement d'un troupeau ou d'un vol d'oiseaux, par exemple. C'est d'ailleurs à faible distance que la mobilité du point de vue s'avère la plus pertinente, car elle permet de révéler ce principe d'animation. En revanche, les photographies prises à haute altitude n'ont accès à la vie animale ou humaine qu'au moyen des «fausses» couleurs de l'infrarouge («fausses vraies» ou «vraies fausses» selon qu'elles ressemblent à celles de la perception directe), l'accès à l'animé supposant alors une intrusion dans le caché. Cette stratification du visible permet d'inférer une modification de l'instanciation. En effet, à faible distance, l'énonciation préserve une instance subjective et la figure d'un auteur. L'énonciateur est le plus souvent un narrateur qui «raconte» la terre peuplée d'actants

livrés à des épreuves et argumente sur des effets de sens conformes aux valeurs mythiques³. À plus grande distance, cette énonciation devient nécessairement impersonnelle et technique, c'est celle d'un œil-machine contrôlé par l'avion ou le satellite.

OÙ COMMENCE L'IMAGE SCIENTIFIQUE

Cette relation entre la distance et l'instanciation doit être conservée en mémoire comme un acquis de l'analyse de la photographie aérienne susceptible d'être soumis à un nouvel examen pour chaque genre d'image et chaque pratique, fût-elle scientifique ou non. Ainsi, à propos d'un corpus de photos de reportage (Beyaert-Geslin, 2009), avons-nous mis en évidence un contraste entre les deux « extrémités » de l'événement. La plus petite et la plus grande distance, où la première sollicite une *écriture corporelle* – le frottement du corps somatique, caractéristique des photographies granuleuses du débarquement en Normandie de Robert Capa, par exemple –, mais virtualise l'activité de sujet, tandis que les photographies prises à la plus grande distance, dites d'actualité, virtualisent, au contraire, le corps somatique et sollicitent un énonciateur, en tant que subjectivité, devant reconsidérer toutes les dimensions de l'énonciation et assurer la sélection des figures textuelles et des genres de photographies (portrait, nature morte...). Pour la photographie aérienne, cette instanciation particulière laisse apparaître un point de basculement où l'image reconsidère les termes de la *semiosis*. Elle bascule d'un régime de *témoignage* où le plan d'expression se confond avec les possibilités de la perception directe, vers un régime d'*imagerie* où l'apparence d'une expérience sensible est associée à une expérience scientifique (Fontanille, 2007) pour construire un nouveau système semi-symbolique. Ce point d'émergence coïncide avec l'utilisation d'instruments qui, telles des prothèses, démultiplient les capacités perceptives, et convertit l'*exposition* du visible des données en une *exploration* de l'invisible (*ibid.*).

OÙ L'ŒIL PERD SES REPÈRES

Ces prémices permettent de comprendre comment, devant renouveler l'instanciation et les

modalités d'accès au visible, la photographie aérienne établit une nouvelle *semiosis* et construit un nouvel objet de sens. Une telle description ne saurait éluder la question de l'échelle car, lorsque la photographie aérienne recourt aux instruments, elle perd aussi tous les repères familiers qui assurent la maîtrise de la forme et son ancrage dans le monde sensible. Plus exactement, la hauteur perd la référence à la stature humaine avec laquelle nous organisons les valeurs dans le monde visible et dans les images. Ce repère, posé dès Protagoras, n'a cessé d'être confirmé jusqu'à Simmel qui définit la figure humaine comme une norme permettant de mesurer le monde :

Quel que soit l'environnement dans lequel elle est placée, [la figure humaine] est ressentie comme la norme qui détermine les quantités et proportions de ce qui l'entoure. À l'intérieur d'une image donnée, elle-même n'est donc ni grande ni petite, puisqu'elle est bien plutôt ce à quoi se mesure la grandeur ou la petitesse de tous les autres éléments. (2003 : 50)

Un peu d'attention permettrait de préciser ce point en mobilisant un argument corollaire. En effet, si la figure humaine permet d'aborder le monde, elle est aussi une échelle à partir de laquelle nous pouvons construire des mondes, comme l'explique Levi-Strauss (1969 : 33) à propos du modèle réduit et de tableaux de Clouet. La stature humaine permet d'aborder l'existant, mais aussi d'inventer, de faire exister des mondes. Si l'on en croit Simmel, la perte de l'étalon de mesure serait d'autant plus dommageable que la hauteur fait aussi disparaître les objets de petites dimensions et nous confronte aux plus volumineux, les montagnes, les fleuves et les mers, dont la représentation reste la plus problématique. Pour « révéler leur sens et leur importance » (Simmel, 2003 : 50), les objets doivent nécessairement être représentés selon une certaine échelle; cependant, si l'on peut sans dommage modifier l'échelle des objets « organiques » (la figure humaine ou l'arbre), les objets « inorganiques », telles les montagnes, exigent que leurs dimensions soient préservées parce que leur sens tient essentiellement à leur démesure, explique-t-il. Si aucun paysage alpin n'est vraiment convaincant, c'est parce que « l'attrait visuel des Alpes est dû essentiellement au caractère extraordinaire de leur masse, et leur

valeur formelle ne révèle son efficacité esthétique qu'à cette échelle» (*ibid.*: 43). En somme, l'insertion d'un promeneur sur une image de dune permet d'identifier le paysage (c'est une photo de dune et non la macrophotographie d'un bac à sable) et, par inférence, de localiser la hauteur du point de vue (la plus haute élévation terrestre et non celle de mon corps lorsque je vise le sol). En perdant ce repère, la distance diversifie le sens et le livre à la polysémie. Le paysage est alors un morceau de croûte terrestre qui, tel le tableau de Max Ernst, *L'Europe après la pluie* (1933), autorise tous les investissements imaginaires. Lorsque l'échelle humaine est perdue, une difficulté supplémentaire apparaît qui tient à l'ontologie et à la méréologie du paysage. À la différence du corps humain, toujours susceptible d'être reconstruit à partir de ses parties, le paysage n'obéit pas à un schéma préétabli. Il se renouvelle sans cesse, n'est que différence, et cette propriété, qui fait l'agrément de la promenade, suffit à hypothéquer sa maîtrise conceptuelle et révèle l'importance particulière de la figure humaine.

Ces descriptions trop allusives devront être problématisées et exemplifiées dans la suite de cette étude. À ce stade, il importe surtout de noter que, lorsque l'échelle est toute petite, l'identification devient impossible et, comme l'indique Bertin, «le document est perdu pour l'information» (1998: 287). Faisant pendant avec l'échelle humaine, repère pour la plus faible distance, il importe de mobiliser le repère du planisphère qui convient à la plus grande distance, sachant que «plus l'espace est grand, plus il semble que la forme extérieure de la carte suffise à son identification» (*ibid.*). À l'échelle du pays, peu de formes restent reconnaissables et leur identification reste aléatoire et essentiellement culturelle⁴.

VÉRITÉ ICONIQUE ET RÉFÉRENTIELLE

Nous avons tâché de mettre l'image aérienne en mouvement pour révéler les variations du point de vue et activer les deux repères extrêmes, la figure humaine et celle du planisphère. Avec ces éléments, nous commençons à comprendre comment des instruments construisent les images et délimitent précisément leurs fonctions. Il reste à décrire les règles de construction de l'image (couleurs, formes, textures) et à relier celles-

ci à une énonciation qui permet de les «pratiquer» relativement à un usage signifiant. Trivialement, le changement de distance de la photographie aérienne pose un problème lié au basculement du visible dans l'invisible. Lorsqu'on s'éloigne du sol, non seulement l'unité de l'objet de sens se défait (l'iconicité est compromise), mais celui-ci devient aussi incommensurable et son expérience ne peut plus être partagée (la symbolicité est mise en cause).

Deux solutions s'offrent alors qui tiennent compte des particularités de la pratique. La première, adoptée pour le site de l'annuaire des pages jaunes/blanches, consiste à intégrer au dispositif de référencement externe aux images (légendes, échelles de couleurs...), caractéristique des pratiques de vulgarisation, un point de mire sur lequel l'observateur pourra «zoomer» pour s'approcher jusqu'au niveau de la maison ou, en élargissant le champ, retrouver la distance de la rue, du quartier, de la ville, etc. Les images ainsi compactées permettent alors d'instaurer une *chaîne de références* où les inscriptions de phénomènes, en préservant une constance déictique, restituent la continuité de la transformation de la forme. L'objet géographique est ainsi conservé dans son unité. Il conserve la mémoire de toutes les transformations effectuées et chacune des étapes peut être retrouvée et répétée.

Ainsi conçu, ce processus d'aller et retour pour s'approcher ou s'éloigner du point de mire n'est pas sans rappeler l'enchaînement caractéristique des images scientifiques, dont l'effort vise à reconstituer une *unité d'objet*, comme l'a indiqué Maria Giulia Dondero (2009) à propos des images d'astrophysique. En compactant ces images, le site de l'annuaire permet d'écraser les discontinuités de la prise de distance, substituant alors aux références à la stature humaine et au planisphère une *autoréférence* qui fait de chaque image la référence de la suivante et, alors que l'absence de repères laisse craindre une perte d'information dans les images prises à distance intermédiaire, conserve la même densité d'un bout à l'autre de la chaîne de références.

Un autre dispositif, utilisé pour les images fixes mais également pour le site de l'annuaire qui associe les photos aériennes à un plan d'accès, consiste à

transformer la photographie en une *pseudo carte* par l'ajout d'une configuration argumentative associant des références et un dispositif chromatique. Dans ce cas, la colorisation permet de constituer un plan d'expression en distribuant les valeurs selon un dispositif discret ou graduel. Selon l'usage social, la distribution des couleurs observera le principe *contrastif* et *discret* du plan du site de l'annuaire qui s'efforce de guider le voyageur de la façon la plus efficace, c'est-à-dire par une économie de moyens et de couleurs et une claire distinction des localités. Elle établit une règle de conversion chromatique fondée sur la plus grande différence chromatique, c'est-à-dire l'écart des couleurs primaires essentiellement. Dans d'autres cas, la distribution des couleurs suit au contraire un principe *associatif* et *scalaire* qui permet, en introduisant de faibles différences tonales, d'ordonner des informations tout en affinant le dessin du paysage. C'est le cas de la carte de la mer du Japon de l'Organisation hydrographique internationale, dont Tufte (2007 : 76-77) explicite les avantages. Par la juxtaposition, cette carte autorise une fine distinction des zones immergées et émergées. Par une comparaison avec une autre carte qui décline toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, Tufte montre que la gradualité tonale permet d'introduire une plus grande quantité d'informations tout en préservant la cohérence isotopique qui autorise les investissements cognitifs. D'où sa constatation : « d'infimes différences permettent plus de différences » (*ibid.* : 77 ; notre traduction).

Avec l'utilisation des couleurs, s'impose ainsi la nécessité de transformer les inscriptions de phénomènes en une forme stabilisée (iconicité), mais aussi identifiable, commensurable, exploitable et partageable (symbolicité), conforme au principe d'efficacité de Bertin :

[...] si, pour obtenir 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. (1998 : 146)⁵

CONSTRUIRE L'IMAGE

Mais la colorisation n'est pas la seule condition de l'exploitation de l'image. Pour que son usage soit

signifiant, celle-ci doit encore être intégrée à une configuration argumentative finalisée par la pratique sociale, qui la stabilise et assure son exploitation, comme le montrera l'étude d'un atlas de vulgarisation rassemblant des photographies aériennes de la France.

La particularité de cet ouvrage est en effet de permettre l'identification de photographies qui, dégagées de ce support éditorial, échapperaient totalement à la signification. Comme nous l'avons indiqué précédemment, la particularité des stratégies éditoriales des documents de vulgarisation tient à la densité du dispositif textuel ajouté à l'image, extérieurement à l'image (légendes, barres de références chromatiques). Dans le cas de l'atlas de vulgarisation, un dispositif référentiel approprié permet à chaque page d'identifier précisément l'image aérienne en y associant le nom du pays ou de la région. Les références résolvent des problèmes d'identification qui se laissent au demeurant aborder par la question sémiotique de l'iconicité, mais qui, pour le lecteur, se traduisent simplement par une difficulté à circonscrire une figure dans une continuité paysagère. Très grossièrement, on pourrait avancer que représenter un pays revient à donner forme à un territoire et à produire la croyance iconique qui lui donnera consistance. Comment l'ouvrage parvient-il à produire cette croyance et à transformer une empreinte à peu près informe, perdue pour la sémiotique, en une forme stable, susceptible d'être identifiée et partagée par les lecteurs les moins avertis (vulgarisation) ? C'est la question qui nous intéresse désormais.

Deux chapitres permettent de préciser le problème et la solution apportée par les auteurs de l'atlas. La difficulté la plus considérable intervient sans doute avec les photographies du Limousin qui, si elles ne subissaient la pression cartographique en s'autorisant quelques indications de lieux, ne « signifieraient » rien parce qu'elles seraient dénuées de toute *présence iconique* et restitueraient une belle continuité d'un vert sombre. Or, tandis que se construit la *présence référentielle* à partir d'une carte de France assortie d'un dispositif de cadres renvoyant à un index des territoires, une *présence iconique* se construit tout de même au fil des pages qui donne peu à peu

consistance à une Région Limousin. Tout d'abord, des frontières administratives sont circonscrites au moyen d'un contraste chromatique et tonal (vert sombre sur blanc) qui interrompt les continuités paysagères entre le Limousin et les régions périphériques. Ce contraste superficiel permet de séparer une *figure* sur laquelle se concentrera l'attention, distincte d'un *fond* pouvant être négligé (Groupe μ , 1992). Bien que banal, ce traitement de l'image serait superflu en d'autres cas. Placé au bord de la mer, le Limousin recevrait dès l'abord un statut de *figure* et c'est donc le caractère continental de la région qui impose ce traitement. La mer fonctionne en effet comme un *fond* dans la photographie aérienne, un statut que lui confèrent certaines propriétés propres ou qui tiennent plutôt au contraste qu'elle oppose à la terre. Avant tout, elle oppose à la diversité chromatique de la terre une continuité contrastante, fût-elle décrite en noir ou en bleu. Ensuite, le bleu étant perçu comme la couleur la plus éloignée dans la profondeur, il tend à « pousser » les couleurs terrestres « devant » lui. Enfin, les contrastes de texture eau/terre tendent à marquer les différences chromatiques si bien que, comme l'explique Ninio, même si les lignes n'existent pas dans la nature, « la ligne de côte qui sépare l'eau de la terre est vue, de bateau ou d'avion, comme si elle avait été expressément dessinée à l'encre noire » (1996: 65).

À ces « carences iconiques », imputables au caractère continental de la région, s'ajoutent des difficultés liées non plus à la délimitation d'un contour, mais à la structuration de la plage. Les discontinuités, qui font le charme du paysage limousin vu du sol et donnent prise à la signification, s'évanouissent lorsqu'on les observe du ciel et laissent place à une granularité, à cette répétition d'éléments qui caractérise la *texture* (Beyaert-Geslin, 2003). En l'occurrence, la photographie restitue très fidèlement le monde sensible et ne propose aucune conversion chromatique susceptible d'améliorer la différenciation. Elle traduit le délicat modelé de cette basse montagne par une continuité texturale qui devient signifiante avec la médiation du cadre argumentatif de la cartographie et, notamment, la projection de noms de lieux.

Ces difficultés révélées par les pages de l'atlas consacrées au Limousin, et habilement palliées par les

stratégies éditoriales, suffisent à révéler les conditions de la *présence iconique* et montrent que l'inscription des phénomènes donne lieu à des formes plus ou moins identifiables selon la morphologie et l'ontologie du paysage rencontré. Un peu d'attention révèle que l'identification géographique tend à privilégier la structure culturelle du paysage pour se concentrer sur les aéroports ou les autoroutes, par exemple, qui prennent une importance considérable pour l'orientation et la structuration du lieu, surtout dans le cadre des pratiques de vulgarisation. L'identification géographique interroge aussi sa structure naturelle, les lignes des fleuves et de la mer, les aspérités et les couleurs du relief, en fonction des besoins de la pratique. Elle s'appuie plus précisément sur une gamme chromatique qui, même lorsqu'elle réplique les « vraies couleurs », celles de l'expérience sensible, renvoie à une distribution des valeurs inhabituelle, réservée au positionnement élevé du point de vue. En transformant les différences d'altitude et de culture en contrastes chromatiques – en vert pour les plaines et les zones basses, en brun pour les zones intermédiaires et en blanc pour la cime des montagnes –, la gamme chromatique de la photographie aérienne permet de structurer le paysage dans ses deux ou ses trois dimensions.

Si cette rapide description suffit à révéler les « carences iconiques » de la photographie aérienne du Limousin qui, parce qu'il est dévolu à la nature et à une altitude moyenne, se traduit par une *texture* et non par des *figures* lorsqu'on l'aperçoit du ciel, une comparaison avec une région littorale et industrielle montre à l'inverse comment une présence iconique s'impose d'elle-même en raison des propriétés du terrain. Dans son survol de la Côte-d'Opale, l'atlas montre par exemple comment la mer assume le contraste figure/fond et l'accentue même par un effet de contour. Il révèle de même l'incidence de l'appropriation économique des lieux qui, assurant la variété chromatique, vient informer le plan de l'expression. Deux paramètres s'allient dès lors dans la stabilisation de la forme, un objet de sens se détachant pour ainsi dire de lui-même en même temps qu'il s'offre comme un champ d'investigation au regard. L'iconisation s'impose comme un processus

global, assurant la « prise » de la forme, et comme un processus *local* qui introduit des inégalités signifiantes à l'intérieur de cette forme. Par ce double processus, seulement déterminé par le caractère littoral, industriel et urbanisé de la région, une *présence iconique* se construit en même temps que la *vérité référentielle*, parce que la localisation du territoire sur le littoral apporte aussi son concours à la stabilisation iconique.

Ce constat permet de faire l'hypothèse d'une corrélation entre la présence iconique et la présence référentielle dans la photographie aérienne, par laquelle la forme se laisse identifier en même temps qu'elle est localisée sur un territoire. Traduite par les critères tensifs, il s'agit d'une corrélation converse imposant la progression parallèle des grandeurs et l'augmentation de l'intensité (présence iconique) avec l'étendue (présence référentielle). Pourtant, cette esquisse doit être nuancée en fonction de la hauteur du point de vue, qui introduit des paliers de reconnaissance et de référencement liés aux deux *attracteurs iconiques* extrêmes que sont la figure humaine et celle du planisphère. Notre réflexion aboutit à l'hypothèse selon laquelle l'identification des formes croise deux échelles référentielles. Une première échelle de référence, discontinue, subit la pression des deux attracteurs iconiques et permet d'identifier l'objet en le rapportant à ces grandeurs. Une seconde échelle, continue et indépendante de la hauteur, associe la *vérité iconique* et la *vérité référentielle* pour donner consistance à l'objet géographique construit en fonction de sa localisation sur la surface terrestre.

POUR CONCLURE SANS CONCLURE

Avant de conclure ce parcours, une remarque méthodologique s'impose. Dans notre effort pour conserver le fil de la démonstration, nous avons en effet unifié toutes les pratiques de l'image aérienne

dans une conception synthétique qui gomme toutes leurs exigences spécifiques. Il convient donc maintenant de prendre nos distances vis-à-vis d'une pensée monologique et de faire un lien explicite entre les pratiques scientifiques et les usages signifiants. Dans une étude consacrée aux dessins d'un programme de restauration d'une œuvre d'art⁶, nous avons montré que chaque genre d'image modélise l'objet qu'il aborde et opère un recentrage sémantique des propriétés de l'objet en les subordonnant à la finalité de la pratique. Chaque image se concentre sur un *sens pratique* précis, animée d'un souci d'efficacité, opère une sélection des données pertinentes et des données « parasites ». Mais la modélisation va bien au-delà de la simple interaction entre un informateur et un observateur, entre un destinataire et un destinataire, et même au-delà du recentrage sur un sens pratique. L'image prend en charge le processus de fictionnalisation de l'objet pour l'établir en *fait visuel* et assurer une modalisation épistémique. Ces différents résultats révélés par le *modus operandi* d'une pratique spécifique, la restauration d'une sculpture contemporaine, pourraient être réexaminés et utilisés à propos des images aériennes. Ils montreraient que les différents utilisateurs de cette image observée jusqu'ici de façon générique, les géographes mais aussi les climatologues ou les océanographes, reconfigurent l'image selon les besoins spécifiques de leur pratique, de sorte qu'une même photo pourra signifier pour l'un et pas pour l'autre, et même qu'une donnée pertinente pour l'un sera considérée comme parasite pour l'autre. Ainsi les graduations fines des profondeurs marines, indispensables à l'océanographe, seront-elles considérées comme parasites pour le lecteur de notre atlas de vulgarisation qui, ayant déjà bien du mal à localiser son Limousin et devant discriminer les formes de la terre, exigera que la mer soit un simple fond, une continuité bleue.

NOTES

1. On obtient alors une résolution supérieure qui permet de distinguer des zones de 2,5 m au sol, les dispositifs militaires actuels pouvant quant à eux distinguer des zones de 15/20 cm.
2. La notion de monde visible est discutée dans le premier chapitre de l'ouvrage de Jacques Fontanille, *Sémiotique du visible*, intitulé « Comment le sens vient à la lumière » (1995).
3. Les différents films qui s'efforcent d'alerter sur les dangers du réchauffement climatique (Yann Artus Bertrand) situent le point de vue à faible distance du sol, ce qui donne accès au monde animé (animaux, mouvements des rivières...) et préserve une figure de narrateur. Cette double instanciation permet de faire le récit de la terre, de construire un parcours narratif.
4. Pour Bertin, certaines formes de pays pourraient être identifiées par tout le monde parce qu'elles « ont atteint un degré d'universalisation qui les hausse au niveau du symbole » (1998 : 287). On objecterait que cette identification est aussi largement culturelle, l'habitant d'un pays parvenant à l'identifier même si ses formes sont compliquées.
5. L'efficacité se mesurant à la rapidité, on pourrait avancer que l'intentionnalité est ici de fournir une *image*, c'est-à-dire « une forme significative perceptible dans l'instant minimum de vision, perceptible spontanément » (Bertin, 1998 : 146).
6. L'article, « Le dessin dans un programme de restauration d'une œuvre d'art » (Beyaert-Geslin, à paraître), restitue une communication faite lors de journées d'étude organisées à Venise en décembre 2008 dans le cadre de l'ANR « Images et dispositifs de visualisation scientifiques » (2008-2010) qui réunit Limoges, Liège, Venise et Strasbourg.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUTIER, F. [2004]: *La France vue de l'espace*, Bagnaux, Sélection du Reader's Digest.
- BERTIN, J. [(1967)1998]: *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris, École des hautes études en sciences sociales.
- BEYAERT-GESLIN, A. [2003]: « Texture, couleur, lumière et autres arrangements de la perception », *Protée*, vol. 31, n° 3, 81-90 ;
- [2008]: « Paysage et catégories topologiques », actes du colloque *Le Paysage*. En ligne : <http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=2456> (page consultée le 22 octobre 2009) ;
- [2009]: *L'Image préoccupée. Sémiotique de la photographie de reportage*, Paris, Hermès-Lavoisier ;
- [à paraître]: « Le dessin dans un programme de restauration d'une œuvre d'art », *Visible*, n° 7.
- DONDERO, M. G. (2009): « L'image scientifique : de la visualisation à la mathématisation et retour ». En ligne : <http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=2907> (page consultée le 22 octobre 2009).
- FONTANILLE, J. [1995]: *Sémiotique du visible. Des mondes de lumière*, Paris, PUF ;
- [2003]: « Lumières, matières et paysages », *Protée*, vol. 31, n° 3, 17-30 ;
- [2007]: « Les systèmes d'imagerie scientifique. Questions sémiotiques », *Rivista dell'Associazione italiani di studi semiotici*. En ligne : <http://www.ec-aiss.it/archivio/tipologico/autore.php> (page consultée le 22 octobre 2009).
- GOODMAN, N. [(1968) 2005]: *Langages de l'art, une approche de la théorie des symboles*, trad. de J. Morizot, Paris, Hachette ;
- [(1978) 2006]: *Manières de faire des mondes*, trad. de M.-D. Popelard, Paris, Gallimard.
- GROUPE μ [1992]: *Traité du signe visuel*, Paris, Seuil.
- JACOBI, D. [1999]: *La Communication scientifique. Discours, figures, modèles*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble.
- LATOUR, B. [(1999) 2001]: *L'Espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, Paris, La Découverte.
- LEVI-STRAUSS, C. [1969]: *La Pensée sauvage*, Paris, Plon.
- NINIO, J. [1996]: *L'Empreinte des sens. Perception, mémoire, langage*, Paris, Odile Jacob.
- SIMMEL, G. [2003]: « La quantité esthétique », *Le Cadre et autres essais*, trad. de K. Winkelvoss, Paris, Gallimard.
- TUFTE, E. R. [(1997) 2007]: *Visual Explanations, Images and Quantities, Evidence and Narrative*, Cheshire (CT), Graphics Press.

À QUOI SERVENT LES SCHÉMAS? TABULARITÉ ET DYNAMISME LINÉAIRE

JEAN-MARIE KLINKENBERG

Je poursuis ici le propos que j'ai abordé aux journées sur l'image scientifique tenues à Liège en mars 2007. L'objet de recherche de l'équipe que je coordonne dans le cadre d'un projet FRFC (Fonds de la recherche fondamentale collective) est la textualité du discours scientifique, autrement dit l'étude sémiotique de l'organisation interne des énoncés relevant de ce genre discursif. C'est ce qui explique que, dans ce qui va suivre, je parle de l'image telle qu'on la mobilise dans le discours scientifique d'exposition (article, traité, ouvrage de vulgarisation, page Web, etc.), lequel a ses spécificités rhétoriques, et non de l'image produite par les dispositifs d'observation scientifique (image obtenue par tomographie, RMN (résonance magnétique nucléaire), etc.)¹. Un chapitre de cette recherche est celui où l'on envisage l'intégration des images aux textes verbaux. Ce que j'ai essayé de faire en proposant d'abord une esquisse de grammaire générale de l'interaction texte-image (Klinkenberg, à *paraître b*) et en observant ensuite la manière dont le discours scientifique mobilise les potentialités de cette grammaire (Klinkenberg, à *paraître a*). Dans ce qui suit, il s'agira de s'interroger sur l'apport global de l'image au discours scientifique: que peut-elle?

Dernière précision: m'autorisant de Jacques Bertin (cité par Badir, 2005: 50), qui définit l'image comme « la *forme significative* perceptible dans l'instant minimum de vision » (Bertin, [1967] 1973: 142), je traiterai ici du cas particulier des graphiques, des histogrammes, des diagrammes de dispersion, des schémas et des tableaux. Dans la plupart des cas, il s'agit de la catégorie globale de ce que Desnoyers (2005a, 2005b) appelle les « analogrammes », auxquels pourront venir s'adjoindre certaines autres espèces comme les organigrammes. Pour désigner tous ces types d'énoncés, j'emploierai le mot « schéma »; celui-ci sera donc pris dans son sens générique, et non au sens restreint de la géométrie algébrique.

1. ÉCRITURE ET SPATIALITÉ

Je convoque ici l'écriture pour en souligner un trait essentiel, et tirer de celui-ci une conséquence qui va nous être utile dans l'étude du schéma.

Ils sont peu nombreux les théoriciens de l'écriture (en dehors de Harris, 1995; Cárdenas, 2001; Perri, 2001) à avoir pointé la caractéristique capitale de l'écriture – capitale, car elle est la source du caractère multidimensionnel de l'écriture – : que cette dernière fait passer la parole du canal oral sur le canal visuel.

• Le présent article fait usage des rectifications orthographiques recommandées par tous les organes francophones compétents, dont l'Académie française.

Or, les sémiotiques qui transitent sur l'un et l'autre de ces canaux sont profondément affectées par les propriétés de ceux-ci, ce qui – soit dit en passant – justifie une prise en considération des canaux, qui était jusqu'à nos jours largement refusée par la sémiotique². Il n'est évidemment pas question de ramener toute la question du sens à la nature du canal (comme le veut une position polémique que résume la formule bien connue de McLuhan «Le médium, c'est le message»), mais de prendre au sérieux l'idée que les aspects matériels de la communication font de plein droit partie du travail de signification et de référence.

Je précise que par canal, j'entends, d'une première part, l'ensemble des stimuli des signes qui dépendent du support matériel permettant leur transmission et, de seconde et troisième parts, les caractéristiques des appareils émetteurs et récepteurs, qui ont chacun leurs potentialités propres. C'est que la configuration des énoncés dépend de ces instances de transmission. Les appareils visés ne sont en effet sensibles qu'à une gamme spécifique de phénomènes physiques. Ainsi, le canal auditif ne permet pas de traiter à la fois autant d'informations que le canal visuel, beaucoup plus puissant. Ce dernier permet en effet de faire transiter 10^7 fois plus d'informations que le premier, dans le même laps de temps (voir Groupe μ , 1992). Cette différence de puissance a des répercussions non négligeables sur les modes d'organisation des unités sémiotiques dans un syntagme. On peut aisément constater que les sémiotiques s'appuyant principalement sur l'ouïe privilégient les chronosyntaxes, ou syntaxes linéaires (où les informations se présentent pour être traitées les unes après les autres), et que celles qui exploitent la vision font un usage de toposyntaxes, ou syntaxes tabulaires (un terme qui va être glosé ci-après), où l'on traite simultanément un certain nombre d'informations, cette simultanéité étant autorisée par la puissance du canal.

Lorsqu'une même sémiotique mobilise des signes fondés sur des stimuli différents – autrement dit lorsqu'elle exploite des canaux différents –, ceci entraîne une conséquence importante: on ne peut avoir une équivalence parfaite entre la variante du code transitant par le canal *a* et celle qui transite par

le canal *b*, puisqu'un canal particulier fait peser des contraintes spécifiques sur l'organisation de ces signes. On doit donc s'attendre à ce qu'en passant d'un canal à un autre, les messages performés à partir d'un code donné perdent une partie de leurs caractéristiques mais gagnent en échange d'autres caractéristiques. Ainsi, en passant par la modalité sensorielle qu'est la vision – en étant écrits –, les énoncés linguistiques conservent-ils leur caractère linéaire, tout en acquérant un caractère spatial.

Et c'est bien cette dimension spatiale qui est importante lorsqu'on définit l'écriture, et non son caractère visuel: celui-ci est tout au plus la source de ladite spatialité. On constate en effet que cette spatialité peut être exploitée sur d'autres canaux que le visuel. Par exemple les signes scripturaux peuvent faire l'objet d'une transposition tactile, comme «l'écriture Braille»: non visuels, ils se définissent eux aussi par une disposition spatiale.

Grâce à la spatialisation, l'énoncé écrit cesse donc de se déployer dans un espace à une dimension (induisant des relations exclusivement linéaires) mais investit un espace à deux dimensions au moins (induisant des relations tabulaires)³. Cet espace à deux ou à trois dimensions permet une aperception simultanée. Mais le champ de cette aperception est toutefois orienté (et animé) par des relations linéaires. La particularité de l'espace écrit réside dans cette dialectique: il est le champ où se déploient à la fois des relations tabulaires et des relations linéaires. L'énoncé langagier devient image, au sens de Bertin⁴.

2. LE SCHÉMA SCIENTIFIQUE ET L'ÉCRITURE

Le schéma scientifique est étroitement lié à l'écriture, et cela pour deux raisons.

De première part, il se présente toujours dans un environnement textuel visuellement perceptible, auquel il est non seulement intégré, mais subordonné.

Même s'il contribue à l'organiser, le schéma est systématiquement intégré au texte: rapport, encyclopédie, manuel, article, page Web. Il forme avec ce texte un énoncé global. À l'intérieur de cet énoncé global, on peut certes distinguer au moins deux grands composants nettement individualisés: le texte verbal *T*, et le schéma proprement dit *S*; et au sein

du composant textuel T, on peut opérer de nouvelles décompositions: le texte suivi proprement dit T1 et les formules T2, par exemple (voir fig. 1).

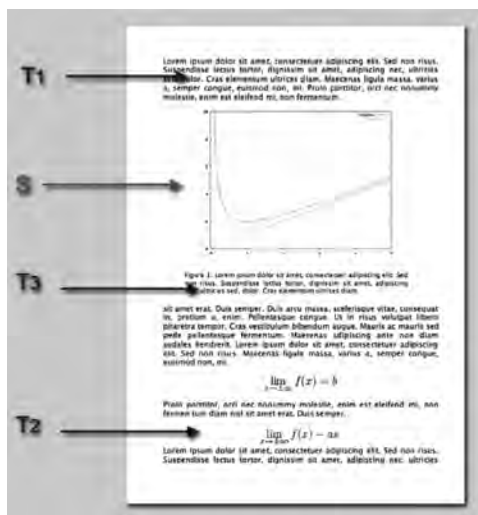


Figure 1. Intégration du schéma et du texte : composant schématique et composants textuels.

Mais S+(T1+T2) constitue indéniablement une unité. D'où provient cette unité? De procédures indexicales assez générales. Pour rappel, l'index – qu'on se gardera de confondre avec l'indice – est un dispositif sémiotique ayant pour fonction de focaliser l'attention sur un objet déterminé, ou de donner un certain statut à cet objet (exemple: le doigt pointé, la flèche, l'étiquette, etc.). Ce type de signe ne fonctionne qu'en présence de l'objet désigné, de sorte que sa définition mobilise l'idée de contigüité. Si la nature des objets appelés à devenir des index peut être très variable (ils peuvent très bien être de nature linguistique: « ce type-là »), ils exploitent donc toujours l'espace, voire le temps (« le président *actuel* »). Ce sont de telles indications indexicales, culturellement variables, qui fournissent l'unité du dispositif global. Nous savons ce que c'est qu'une page, à quoi elle sert, comment elle se manipule, et sommes dressés à considérer tout ce qui figure dans l'espace délimité par sa bordure comme une unité de forme et de sens. Nous savons aussi ce qu'est un livre, et y postulons de la même manière une unité de forme et de sens. Une certaine culture a ainsi formé ses membres

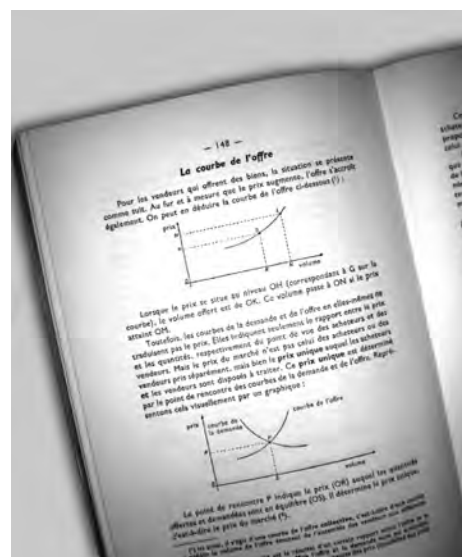


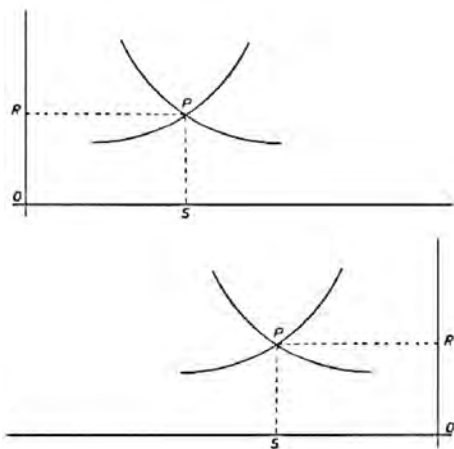
Figure 2. Fonction indexicale de la page.

à discrétiser le champ de l'expérience en pages distinctes et à postuler une homogénéité de ces pages.

Notons une autre sujétion du schéma au texte: ce schéma est le plus souvent légendé. La légende (T3) peut être considérée, historiquement, comme une excroissance du texte englobant T (T1+T2), obtenue par la sélection de certains éléments de celui-ci, considérés comme devant entretenir une relation privilégiée avec le schéma. La légende a fini ainsi par devenir un intermédiaire entre S et T1+T2, deux unités avec lesquelles il entretient une certaine relation de redondance (redondance partielle, on va le voir). La légende établit une autre relation indexicale très claire entre son contenu linguistique et le schéma, induisant une relation verbo-éidétique⁵.

Tout ceci mène à un constat: le faible degré d'autonomie du schéma par rapport au texte. Mais alors, dira-t-on, quel est son apport? et quelle spécificité a-t-il par comparaison à T? Répondre à cette question est l'objectif de la présente contribution. Pour l'instant, contentons-nous de dire que, intégré au texte, le schéma subit la loi de ce texte. On comprend donc que les procédures de lecture d'un schéma soient affectées par les habitudes de lecture textuelle qui sont les nôtres. Par exemple, on observe une tendance à produire des schémas qui supposent une lecture allant de gauche à droite. On s'en persuade aisément

en comparant les exemples 3a et 3b qui suivent: le second est manifestement agrammatical.



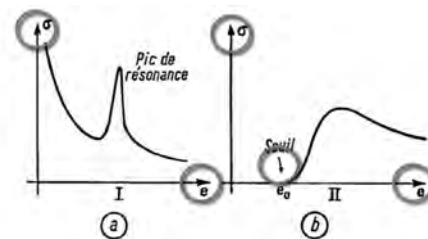
Figures 3a et 3b. La lecture orientée du schéma.

Si le schéma est subordonné au texte, il comprend par ailleurs toujours des éléments textuels: mots isolés, données chiffrées, qui entrent dans le schéma à titre de formants, ou traits du langage du schéma. Ces formants textuels ont aussi pour conséquence d'intégrer la linéarité dans le dispositif spatial. Certes, ils sont souvent présents sous une forme minimaliste: celle de lettres ou de chiffres. Mais bien qu'il y ait des lettres symétriques⁶, les formants littéraux comportent le plus souvent, et dans la plupart des écritures, une orientation.

Il y a donc une double intégration du langage et du schéma: subordonnante et superordonnante. Cette intégration confère donc à ce dernier la propriété canonique dialectique de l'espace scriptural: spatial, il est aussi linéaire et orienté.

Cette « orientationnalité »⁷ que le schéma reçoit de l'écriture entre évidemment en redondance avec d'autres formants ayant le même signifié général d'orientationnalité. Ce sont, par exemple,

- des signes comme la flèche, qui a plusieurs signifiés possibles dans le schéma: expression de l'orientationnalité (cas des flèches proches de sigma et e dans les exemples 4a et 4b), ou lien à fonction indexicale (reliant un énoncé linguistique et une portion d'énoncé d'une autre nature; cas de la flèche proche du mot « seuil » en 4b);



Figures 4a et 4b. Dispositifs à valeur indexicales.

- des traits ou pointillés à la même fonction indexicale, où la portion d'énoncé distinct peut être iconique;
- le comportement de certains tracés, encyclopédiquement conçus comme directionnels: dans la droite asymptotique, par exemple, la tangente constitue une indication de l'orientationnalité.

Ce n'est donc pas seulement par l'intervention du linguistique que le schéma est linéairement orienté: il doit aussi ce trait à des formants non linguistiques. Mais il n'est pas exagéré de dire que le linguistique joue un rôle important dans cette vectorialisation. Pour l'instant, pointons surtout la double propriété de l'espace du schéma: à la fois spatial et linéaire⁸.

3. TABULARITÉ ET ANALYSE

Cette double dimension produit une tabularité. La tabularité est une notion que nous avons introduite dans notre *Rhétorique de la poésie* (Groupe μ , 1977). La tabularité caractérise la lecture de certains énoncés. Dans la lecture tabulaire, un élément de l'énoncé prend son sens grâce au rapport qu'il entretient avec d'autres éléments, sur au moins deux axes linéaires distincts. Dans la plupart des schémas, précise Badir, [...] la tabularité s'exprime par l'utilisation de l'orthogonalité de l'espace. Cela est vrai des tableaux, où lignes et colonnes, établissant les paramètres à croiser, sont établis dans la très grande majorité des cas à l'horizontale et à la verticale [...]. L'orthogonalité est également manifestée dans tous les diagrammes, y compris les camemberts qui sont des diagrammes employant les quatre quadrants (alors que, généralement, les diagrammes sont construits sur la base du seul quadrant des valeurs positives). L'orthogonalité est encore présente dans les organigrammes et les arborescences, où la verticalité renvoie à la hiérarchisation des éléments tandis que l'horizontalité renvoie à leur distribution au sein d'un même niveau. (2007: 284-285)⁹

Mais, évidemment, ce schéma de base peut se voir complexifié: il peut y avoir plus de deux axes distincts, soit qu'un schéma mime la troisième dimension par des artifices adéquats, soit qu'on renonce à l'orthogonalité en multipliant les axes dans le même plan (comme dans le diagramme de Kiviat).

Par la multiplicité des axes, la tabularité privilégie les rapports établis en dehors de la ligne du temps (mais sans exclure ceux-ci, comme on va le voir).

La tabularité est aussi l'un des instruments privilégiés de l'analyse, si l'on entend par analyse la déclinaison d'un objet en plusieurs composantes expressément choisies, deux au moins. Suivons encore Badir:

Comme la tabularité conduit à attribuer un sens à un objet graphique en fonction de deux paramètres, comme la tabularité, plus précisément, est le moyen de diviser le sens de l'objet en fonction de deux composantes générales qui le catégorisent, il est clair qu'un énoncé graphique, quel qu'il soit et quel que soit son objet, présente une analyse. (2007: 286)

Explicitant le choix des composantes, le schéma reflète donc, comme le voulait Tufte (1983), la logique de l'analyse menée. Indépendamment de son intégration au texte, il constitue donc un discours argumentatif, puisqu'il sélectionne et isole les paramètres d'un phénomène tout en proposant des hypothèses sur les relations (causales ou autres) entre ces paramètres.

Il est important de noter que les schémas ne sélectionnent jamais ces composantes au hasard. Une dimension au moins de l'analyse que mènent un bon nombre d'entre eux¹⁰ fait obligatoirement intervenir la variation. Le tableau, l'histogramme, le diagramme ont en commun de présenter des valeurs variant. Or, la variation est un processus, et qui dit processus dit temporalité. La temporalité est donc toujours présente, à titre de référent, dans les schémas dont il est question ici. Il s'agit parfois d'une temporalité au sens strict (comme les différents moments d'une réaction physique, les années où les mois de prises de la mesure de la précipitation, ou les moments où l'on a établi la valeur de telle monnaie); un des paramètres du schéma est alors constitué par des unités de mesure du temps. Mais il peut aussi s'agir non de temps explicitement exprimé, mais de phénomènes

référables à des procès, à titre de modalités ou de résultat. Ces phénomènes présupposent le procès dont ils dépendent, et donc le temps. On s'en persuade aisément si l'on remplace les substantifs des schémas – ces substantifs que privilégie le scientifique, tout à son désir d'exprimer une vision essentialiste de ses pratiques – par leur équivalent verbal: «offrir» et «demander» (à la place de «offre» et de «demande»), «varier selon le paramètre de la pression», «varier selon le paramètre de la température», etc. Le schéma s'adosse donc toujours à un récit.

C'est bien ce dynamisme que la propriété d'orientationnalité du schéma permet d'exprimer. Et il est juste de parler d'iconisme: il y a ici motivation, puisque l'orientationnalité du plan de l'expression correspond à une temporalité sur le plan du contenu.

4. QUE FAIT LE SCHÉMA?

C'est ici qu'il faut poser la question annoncée: qu'ajoute le diagramme au texte? Pour répondre à cette question, on ne peut se contenter de verbes passe-partout comme «illustrer», «rendre frappant», «expliquer». Toutes ces expressions renvoient à des réponses simplistes, ou au moins incomplètes. Examinons deux de celles-ci.

Horn (1998) souligne la pertinence des éléments visuels dans une communication d'entreprise globale, et l'attribue au fait que l'intégration des éléments verbaux et visuels permet une meilleure compréhension et un gain de temps, ce qu'avait déjà souligné Bertin. Que l'interaction verbo-éidétique produise un effet de compacité et d'immédiateté qu'il doit aux caractéristiques du canal visuel et donc à la spatialité de ses messages, la chose n'est pas douteuse. Que cette compacité aide à la compréhension non plus. Mais, précisément, ce que cette réponse laisse dans l'ombre, c'est la spécificité de ce qui peut être compris grâce à cette intégration. Ne s'agit-il que d'une simple reprise de ce qui peut être compris par le langage seul ou par le graphique seul?

Une telle idée est parente de celle de redondance. Celle-ci constitue une seconde réponse possible. En effet, un regard rapide sur le schéma permet de croire qu'il propose une redondance totale entre les éléments textuels et les éléments spatiaux. Ceux-ci

entretiennent en effet une relation de co-référence, dont le corrélat sémantique est la redondance. Par exemple, un symbole (n, x, p, etc.) à côté d'un vecteur signifie que tout le vecteur est saturé par la donnée à laquelle renvoie ce symbole. Or, il est admis par beaucoup que la science est un ensemble d'énoncés axiomatiques (qui sont non pas indémontrables, mais acceptés sans démonstration, sous peine de circularité); et les systèmes axiomatiques sont ceux qui sont pleinement tautologiques.

Cette seconde réponse n'est pas beaucoup plus satisfaisante que la première. On peut en effet poser que si le diagramme est considéré comme nécessaire¹¹, c'est bien que le texte est insuffisant. Si le formalisme du texte – qu'il s'agisse de son hypostase verbale T1 ou de son hypostase formule T2 – était satisfaisant, le schéma S serait purement redondant.

De l'exigence générale du schéma, on peut donc inférer que le formalisme souhaité dans le discours scientifique n'est nullement établi par le langage. Ni le texte langagier ni la formule ne semblent permettre une appréhension satisfaisante des phénomènes étudiés. Ce qui semble ne pouvoir être atteint que par le binôme texte-schéma. La question se repose donc: qu'est-ce qu'on peut comprendre? Quel formalisme spécifique ajoute le schéma? Quelle est la spécificité de celui-ci dans l'attribution de sens?

Ma réponse sera double: le schéma apporte un formalisme qui, en associant le spatial et le linéaire, permet de réconcilier le paradigme et le syntagme, et de réconcilier le général et le particulier. Dans ces deux cas, nous montrerons que ce que peut le schéma, il le doit à son statut double, à la fois spatial et vectoriel.

a. Réconciliation du syntagme et du paradigme

On sait ce qu'est un paradigme: un répertoire d'unités commutables dans un certain contexte. Ce répertoire est obtenu par une manœuvre de catégorisation: un paradigme est en effet une classe d'éléments, par définition homogènes d'un certain point de vue. C'est bien ce que nous avons dans un schéma: celui-ci rend compte de toutes les occurrences présentant des caractéristiques comparables (par exemple comparables du point de vue de la pression

ou de la température, ou de la valeur d'échange) dans un empan de variation considéré comme pertinent. Mais comment cette homogénéité est-elle établie? On le sait, l'opération constitutive d'un paradigme est la commutation: l'homogénéité paradigmatique se définit par le fait que ces éléments peuvent apparaître au même endroit d'un syntagme donné. La relation paradigmatique vise donc l'ensemble des liens que des unités non manifestées entretiennent entre elles, hors d'un énoncé particulier. Ces relations paradigmatiques opèrent sur l'axe de la sélection. Comme elles mettent en relation des éléments qui ne sont pas co-présents, on dira qu'elles opèrent *in absentia*, littéralement «en l'absence» (d'un ou de plusieurs éléments corrélés à un autre, présent). Les diverses valeurs que peuvent prendre une variable dans un schéma constituent bien, de ce point de vue, un paradigme: une seule des valeurs distinguées par l'analyse peut être actualisée à un moment donné, les autres restant virtuelles. Le temps est donc absent de la virtualité paradigmatique: le paradigme est par définition intemporel.

En ce qu'il produit une analyse, le schéma donne bien à lire le paradigme, et signifie cette intemporalité.

Mais le schéma a la particularité de constituer également un syntagme. On se rappellera que le syntagme est un modèle de relations entre unités, l'énoncé actualisant ce syntagme virtuel. Le schéma est un syntagme car il rend compte de l'actualisation des potentialités: de la totalité des actualisations possibles des termes dans l'empan de variation considéré pertinent, mais actualisation tout de même. Syntagmatique, le schéma l'est à un double titre: d'abord parce que toutes les actualisations possibles de la variation sont mises en relation les unes avec les autres (sous forme de nuages de points, ou sous forme linéaire), selon une règle déterminée; ensuite, et toujours parce qu'il est un instrument d'analyse, le schéma institue des relations entre ces combinaisons d'actualisations, toujours selon une règle déterminée. Au total, le schéma est donc une mise en relation de relations. Or le temps est une caractéristique obligée du syntagme.

Dans l'espace du schéma, l'orientationnalité injecte le temps. L'intemporalité, qui est la propriété

du paradigme, connaît ainsi une mutation de nature: elle devient simultanéité.

b. Réconciliation du général et du particulier

L'ensemble du dispositif verbo-éidétique exprime la généralité. Comment en irait-il autrement dès lors qu'il sert le discours scientifique, et qu'il n'y a de science que du général?

Mais allons au-delà de ce slogan, qui a le goût de la pétition de principe, pour constater que la mission d'exprimer la généralité est inégalement répartie au sein du dispositif global. Constatons ainsi que les formules (T2) se situent résolument du côté du général. Le texte T1, quant à lui, oscille entre les deux pôles. Tantôt il formule verbalement les propositions générales exprimées avec plus de compacité par la formule. Tantôt, il se réfère à des faits particuliers. Mais ceux-ci sont parfois convoqués comme illustration de la loi (c'est l'*exemplum* de l'ancienne rhétorique), parfois comme point de départ d'un processus intellectuel menant à la formulation d'une loi («Soit n , un point quelconque...»).

Le schéma permet également une expression des deux pôles, mais ce n'est pas sous la forme d'un choix ou d'une oscillation: c'est sous la forme d'une conjonction. Une fois de plus, cette conjonction est rendue possible par la tabularité.

Le schéma particularise une première fois parce qu'il attribue des contenus aux lois.

Certes, selon les mathématiciens, un diagramme n'a pas besoin de contenu, puisqu'il énonce des relations de relations. Et il serait possible de construire un langage qui ne se définirait que par sa syntaxe. Pour Netz (1999), les expressions littérales des diagrammes anciens ne sont pas des signes revoyant à une réalité; les lettres ne désignent pas un réel qui préexisterait, mais construisent celui-ci par la monstration («quand montrer, c'est faire...»): «cette ligne-là, j'en établis le statut en la nommant a-b»). On pourrait en conséquence ajouter qu'elles sont les déclencheurs d'une force illocutoire qu'elles reçoivent de leur fonction indexicale. Aux yeux d'un sémioticien toutefois, qui reconnaît évidemment la force illocutoire de la monstration, il est contradictoire qu'à une expression ne puisse

correspondre aucun contenu: que celui-ci ne puisse être thématiqué avec précision et qu'il reste donc d'une grande généralité ne lui ôte rien à son statut de contenu.

Mais il n'est sans doute pas utile d'entrer dans cette discussion: de toute manière, même si un schéma n'avait pas besoin de contenu, cela ne signifierait pas qu'il ne puisse y en avoir. Le plus souvent, son sémantisme advient du fait qu'il fournit à la fois une loi et les objets auxquels s'applique cette loi. Et, ici encore, on constate une répartition des fonctions: montrer la loi est la tâche qu'assument ses formants spatiaux; et désigner les contenus est celle qui est dévolue aux formants verbaux. Une fois de plus, cette intrication découle de la co-référence que rend possible l'indexicalité.

Dans l'hypothèse où l'on admettrait qu'il y ait des schémas sans contenu, cette première particularisation serait tout optionnelle. La seconde, elle, est en tout état de cause nécessaire et est une conséquence directe de la tabularité.

Cette tabularité permet d'observer un point particulier où s'applique la loi générale exprimée par la formule, de faire arrêt sur lui ou le mettre en évidence¹². La co-référence permet en effet de faire ce que fait aussi le composant verbal du texte scientifique: donner le statut d'exemple particulier à un point ou à une donnée du schéma. Mais ces cas particuliers sont en grand nombre, voire en nombre infini lorsque les formants graphiques sont continus (comme avec la courbe). Le schéma permet donc de saisir les faits – des grandeurs, des phénomènes physiques, des phénomènes sociaux – dans le continu de leur réalisation; il permet de parcourir toute la série des formes particulières qu'ils prennent. Il rend donc compte simultanément des particuliers – de la totalité des particuliers – et de la généralité qui engendre cette totalité ou qui en est l'expression.

Comme la formule, le schéma a une fonction d'analyse, mais si la formule exprime toutes les potentialités de cette analyse, elle le fait de manière intemporelle, et donc statique. Par son orientationnalité, qui permet de parcourir la totalité des actualisations, le schéma introduit dans l'analyse une dimension dynamique. Ici encore, intemporalité

et processualité connaissent une dialectique dont le résultat est la simultanéité.

5. SPÉCIFICITÉ PRAGMATIQUE

La dialectique de la spatialité intemporelle et de la séquentialité dynamique n'est pas un monopole du schéma, mais constitue une propriété de tous les instruments d'intellection, même les plus élémentaires. Notre perception, en effet, est celle de phénomènes particuliers qui se présentent à nous de manière discontinue, et c'est nous qui y introduisons l'unité et la continuité¹³. Cette continuité nous l'obtenons par une stabilisation qui est une généralisation (voir Groupe μ , 1998; Klinkenberg, à *paraître c*). Ainsi fonctionne la mémoire, qui emmagasine les résultats des perceptions successives pour les rendre simultanées dans le traitement qu'elle leur réserve. Ainsi, si les éléments fournis par la langue se présentent de manière linéaire au cours de la communication langagière, cela ne signifie nullement qu'elles font l'objet d'un traitement linéaire: leur simultanéité est en tout cas assurée par la mémoire.

Opérer ce type de synthèse n'est donc pas une propriété exclusive du schéma. La spécificité de ce dernier dans la manœuvre est dès lors sans doute de nature pragmatique, ou sociologique.

Quand il a été question de la synthèse du paradigme et du syntagme, le lecteur n'a pas manqué de se souvenir de la définition de la fonction poétique jadis proposée par Jakobson (1960), car elle se présente elle aussi comme un accommodement du paradigme et du syntagme. La procédure assurant cette fonction consistait, on s'en souviendra, à projeter la logique d'équivalence et de substituabilité du paradigme sur la réalisation syntagmatique. Principe explicatif puissant, puisqu'il rend compte de phénomènes aussi différents que la rime ou la métaphore.

Mais on voit que, par-delà cette ressemblance, le schéma et la figure poétique divergent profondément quant aux objectifs qu'ils s'assignent. On doit donc s'attendre à ce qu'ils gèrent de manière très différenciée les modalités de la synthèse entre syntagme et paradigme, général et particulier.

La poésie, c'est bien connu, assume la co-présence des éléments du paradigme (Klinkenberg, 1996).

Sa spécificité est d'admettre la coïncidence des actualisations du système, et ces actualisations sont sélectionnées de manière non explicite. Le schéma, quant à lui, a une double fonction d'analyse et d'argumentation, comme je l'ai rappelé. En tant qu'il argumente, il exprime explicitement le choix de ses points de vue. S'il vise à l'exhaustivité dans les actualisations de la potentialité, celles-ci sont toujours soumises au principe de non-contradiction. En tant que dispositif analytique, il distingue et individualise en effet toujours ces actualisations, même si c'est sous la forme de l'allocation d'une valeur à un point précis d'un *continuum*.

Pour le sémioticien, la puissance explicative du schéma provient donc du fait qu'il associe, dans une perception globale (voire immédiate) qu'il doit à sa tabularité, le général du paradigme avec la totalité des particuliers exprimée par sa structure syntagmatique. Cette puissance réside aussi dans les interpolations, les extrapolations et les hypothèses qu'il autorise sur des ensembles de données qui n'ont été obtenues que par un nombre restreint de mesures: c'est là l'un de ses principaux apports, en ce sens qu'il fournit une information inaccessible par les données brutes dont il est la représentation. Or, un tel apport n'est possible que grâce à la conjonction de la linéarité, qui permet l'ordonnement des mesures, et de la tabularité, qui permet les extrapolations et les interpolations. Le schéma assure également une connaissance sensible et heuristique, voire empirique, des phénomènes qu'il décrit, connaissance impossible à dériver directement depuis les données ou les équations qui en sont la source. Pour Luciano Boi (à *paraître*),

*[...] seules les mathématiques permettent [...] de réconcilier le mouvement et le changement incessants des phénomènes et de la réalité avec la permanence et la stabilité de certains êtres ou *logoï physico-mathématiques*; autrement dit, la variabilité universelle avec l'identité générique, l'ubiquité transpatiale et translocale avec l'individuation ontologique d'êtres et d'organismes déterminés.*

Sans doute seules les mathématiques permettent-elles d'élaborer cette réconciliation, mais seul le schéma permet de la faire percevoir – de la faire *comprendre* – dans l'instant.

NOTES

1. Encore qu'il ne s'agisse pas là de catégories étanches : les secondes peuvent évidemment être insérées dans les publications. Et elles sont toujours élaborées grâce à des règles (règle de seuillage, choix d'échelles chromatiques de visualisation) qui les rapprochent des premières.
2. Voir Klinkenberg, 2000. Dans ce qui suit, nous reprenons en partie le propos déjà tenu dans Klinkenberg, 2006 (89-90)
3. Je dis à deux dimensions au moins car l'espace scriptural bidimensionnel est éventuellement récurrent : la page est un espace à deux dimensions, mais, dans le livre ou le codex, cet espace se répète le long de la troisième dimension. Et la navigation sur page Web peut être décrite également comme l'intervention d'une nouvelle dimension.
4. Tout ceci a en effet pour conséquence que l'écriture assume fatalement des fonctions non linguistiques, d'où sa relative autonomie : elle est à la fois une sémiotique linguistique et une sémiotique de l'espace (au même titre que celle qui est à l'œuvre dans le dessin, le plan, l'organigramme, le diagramme, la carte, la maquette).
5. Notons aussi au passage que la légende comporte elle-même fréquemment une indication générique (« figure », « schéma », « tableau »), qui a elle aussi cette fonction indexicale. Ces indications renvoient à la typologie étiquette de la communauté.
6. Dans l'écriture du français, les capitales I, O, U, A (non accentué), V, Y, H, T, M, W sont symétriques : cela représente environ un tiers de l'alphabet. Mais ces lettres ne sont symétriques que dans certaines polices seulement, et en caractères droits (l'italique faisant disparaître la symétrie. De surcroît, elles ne sont symétriques que dans l'axe horizontal : seul le O est symétrique dans les deux axes, avec les restrictions qu'on vient de signaler.
7. On serait tenté de parler de « vectorialité », mais le vecteur est en mathématiques l'abstraction d'une quantité orientée (au sens propre, une classe d'équivalence entre des quantités orientées) ; or la notion de quantité n'entre pas nécessairement en jeu ici.
8. Comme on va le voir, c'est cette double caractéristique abstraite qui est ici importante, et non l'hybridité proprement dite du schéma. Badir note « une tendance générale qui contribue à l'identification des objets graphiques, à savoir leur caractère hybride. Elle indique également leur statut *intermédiaire* entre les textes et les images ».
9. Badir poursuit : « L'orthogonalité, enfin, n'est pas toujours explicite dans les schémas, ce qui témoigne de la marginalité du type qu'il représente, à cheval entre la catégorie des graphiques et celle des images figuratives, mais elle demeure néanmoins, selon nous, un élément à même d'inscrire un énoncé donné dans le type des schémas » (2007 : 285).
10. Mais non tous : des diagrammes statistiques, cartographiques ou géométriques peuvent être utilisés pour représenter des données statiques, des « états des lieux » dont les valeurs ne varient pas en fonction d'un processus.
11. On imagine mal une démonstration géométrique sans diagramme ; c'est d'ailleurs la thèse qui sous-tend tout l'ouvrage historique de Netz (1999).
12. Tufte (1983) pointe l'intérêt d'une « macro/micro reading », dans une règle qu'il énonce de façon toute normative : chaque point doit pouvoir recevoir sa valeur propre dans un examen de détail, en même temps qu'une lecture globale doit rester possible.
13. Comme le montrent tous les travaux menés sur la perception de l'espace, et même ceux qui concernent le temps, lequel a sans doute une structure granulaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BADIR, S. [2005] : « À quoi servent les graphiques ? », *Communication et langages*, n° 143, 49-60 ;
—— [2007] : « Rhétorique des graphiques dans les médias contemporains », *Actes du VIII^e congrès de l'AIASV-IASV « Cultures du visible »*, Istanbul, Istanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 279-299.
BERTIN, J. [(1967) 1973] : *Sémiologie graphique*, Paris, Gauthier-Villars.
BOI, L. [à paraître] : *Sept variations fondamentales sur le thème de l'espace. De la géométrie du monde physique et la topologie du vivant à la morphologie des formes naturelles et la phénoménologie de la perception*.
CÁRDENAS, V. [2001] : « Lingüística y escritura : la zona visuográfica », *La dimensión plástica de la escritura*, n° spécial de *Tópicos del seminario*, n° 6, 93-141.
DENNOYERS, L. [2005a] : « Les images de la communication scientifique », *Communication et langages*, n° 146, 93-113 ;
—— [2005b] : *La communication en congrès : repères ergonomiques*, Québec, Presses de l'Université du Québec.
GROUPE μ [1977] : *Rhétorique de la poésie, Lecture linéaire, lecture tabulaire*, Bruxelles, Complexe ;
—— [1992] : *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Seuil ;
—— [1998] : « Voir, percevoir, concevoir. Du sensoriel au catégoriel », *Voir (barré)*, n° 16 (numéro spécial de mai : *L'image mentale I*), 28-39.
HARRIS, R. [1995] : *Signs of Writing*, Londres, New York, Routledge.
HORN, R. E. [1998] : *Visual Language : Global Communication for the 21st Century*, Bainbridge Island, Macro VU Press.
JAKOBSON, R. [1960] : « Closing statements : linguistics and poetics », dans T. Sebeok (dir.), *Style in Language*, New York, Mouton, 350-377.
KLINKENBERG, J.-M. [1996] : *Sept leçons de sémiotique et de rhétorique*, Toronto, Éd. du GREF, coll. « Dont Actes », n° 16 ;
—— [2000] : *Précis de sémiotique générale*, Paris, Seuil ;
—— [2005] : « Vers une typologie générale des fonctions de l'écriture. De la linéarité à la spatialité », *Académie royale de Belgique. Bulletin de la classe des lettres et des sciences morales et politiques*, t. XVI, n° 1-6 : 157-196 ;
—— [2006] : « Vers une typologie générale des fonctions de l'écriture. L'écriture comme image », *Visible*, n° 2, 83-108 ;
—— [à paraître a] : *L'interaction éido-graphique dans le discours scientifique* ;
—— [à paraître b] : « La relation texte-image. Essai de grammaire générale », *Académie royale de Belgique. Bulletin de la classe des lettres et des sciences morales et politiques* ;
—— [à paraître c] : « La plasticité des catégories (1. Les catégories iconiques) » ;
NETZ, R. [1999] : *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics : a Study in Cognitive History*, Cambridge, Cambridge University Press.
PERRI, A. [2001] : « Writing », dans A. Duranti (dir.), *Key Terms in Language and Culture*, Oxford, Blackwell Publishing.
TUFTÉ, E. R. [1983] : *The Visual Display of Quantitative Information*, Cheshire (CT), Graphics Press.



LA SCIENCE DE GUY BLACKBURN

Si l'on se permet aisément d'affirmer que l'art est politique, sociologique ou même thérapeutique, c'est de toute évidence plus risqué de le comparer à la science. Il est pourtant logique et vraisemblable de prétendre que ces deux domaines entretiennent des rapports comme constituants d'une même culture. Mais cette association probable semble en général très délicate et entraîne plus souvent qu'autrement la négation du rapprochement. Pourtant certains artistes, comme des scientifiques voués à la poursuite d'une objectivation des faits, s'engagent bel et bien dans une recherche conceptuelle et formelle construite d'observation et d'expérimentation. Bien que consacré à l'expression d'un idéal esthétique, et d'un instinct de l'harmonie, leur art se destine en ce sens à exprimer une vision d'un univers à l'intérieur duquel la science se déploie.

L'art rechercherait la beauté ; la science, la vérité. L'un parlerait à l'émotion, l'autre à la raison. Mais leurs similitudes sont en fait plus réelles qu'il n'y paraît. En effet, l'un et l'autre expriment la pensée par la technique. Dans les deux cas, l'imagination ainsi maîtrisée permettrait à chacun de se dépasser. En science comme dans les arts, on réclame des correspondances avec une réalité qui reflète la société ou qui la subvertit. S'il est dit des entreprises de Guy Blackburn qu'elles « explorent de façon percutante, voire troublante, les nouvelles conditions individuelles et sociales issues des récentes pratiques scientifiques »¹, il est permis de croire que l'espace que cet artiste « occupe » soit le même que celui des gens de science.

Comme pour les scientifiques, le point de démarrage des études de Blackburn naît de l'identification d'un problème et de la prise de position. Celui qu'on appelle volontiers « éveilleur de consciences », en mettant sous la loupe sa désapprobation d'une certaine éthique du monde, prend le même risque que tout chercheur qui est au service d'une hypothèse de départ : dépendre des facteurs qui peuvent influencer les retombées. À cette fin, pour chaque projet, l'artiste recueille un lot étonnant de renseignements disponibles qui sont associés à son sujet. À partir de toutes ces données, il prédit les résultats de l'examen effectué dans l'objectif de leur donner une direction. En chemin, si certaines affirmations se révèlent fausses à ses yeux, elles seront le tremplin à une série d'autres questions qu'il faudra un jour ou l'autre aborder et résoudre.

Christine Martel

1. Extrait du catalogue *Touche* de Guy Blackburn, publié par le Centre Sagamie, Alma (2009 : 66).









Page 74 « Hommage à Anna (solitude et asepsie) », 1995 ; page 76 « Hommage à Anna (solitude et asepsie) », 1995 ; page 77 « Les grands perturbateurs » (détail), 1992 ; « Espace inédit (solitude et asepsie) » (détail), 1996 ; page 78 « Hommage à Anna (solitude et asepsie) » (détail), 1996 ; page 79 « Hommage à Anna (solitude et asepsie) » (détail), 1995 ; page 80 « Espace inédit (solitude et asepsie) », 1995.



L'IMAGE COMME OUTIL DE LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE: DIVERSITÉ ET SPÉCIFICITÉS

LUC DESNOYERS

Les communications effectuées par les scientifiques sont principalement diffusées de deux manières: sous forme d'articles dans les périodiques ou encore d'exposés lors de congrès. Dans les deux cas, le recours à l'image est maintenant massif. Gross *et alii* (2002) ont bien montré combien, dans l'histoire des périodiques en « sciences naturelles », le recours à l'image a connu une croissance remarquable. Dans un échantillon de 100 articles tirés des périodiques scientifiques les plus souvent cités, les auteurs montrent que, dans le premier quart du XX^e siècle, 33 % des articles ont des figures numérotées et porteuses d'un titre; dans le deuxième, c'est 54 %, dans le troisième, 86 % et, dans le dernier, 100 %. Le recours aux images dans les communications lors de congrès est également important. Ainsi, dans une analyse des images projetées en médecine, en physique et en géologie, Rowley-Jolivet (2004) chiffrait le taux moyen d'utilisation à 24 images par présentation, avec d'importantes fluctuations selon les disciplines (en moyenne de 16 à 31) et les auteurs (de 4 à 88). Dans le cas des congrès, on ne dispose pas de données historiques sur l'évolution de l'utilisation, mais l'on constate, en particulier avec le recours quasi universel au logiciel PowerPoint (Desnoyers, 2009a), que l'intensification se produit: il est devenu presque inconcevable de présenter une communication sans projection.

Cette prolifération attire l'attention de scientifiques de nombreuses disciplines, d'éducateurs aussi bien que de professionnels. Les études sur la conception des images scientifiques sont encore peu nombreuses, mais cela n'empêche pas la multiplication d'ouvrages pratiques avançant des préconisations quant à la préparation, l'illustration et la prestation de communications, surtout orales. Dans ce contexte, le point de vue de l'ergonomie que nous adoptons a encore reçu très peu d'attention. L'ergonomie s'intéresse à la communication en la considérant comme une activité de travail, c'est-à-dire à la traduction d'une tâche prescrite en activité réelle, où l'opérateur - l'auteur - choisit, adapte, voire crée des outils qui lui permettent de procéder adéquatement dans un environnement matériel, technique et socio-organisationnel donné. C'est ce qui nous permet de considérer les images de la communication comme des outils, et nous amène à les étudier dans leur diversité, dans leur spécificité, dans leur usage concret et dans leur utilité, leur adéquation à la tâche. Ce sont ces différents aspects de l'image scientifique que nous aborderons ici.

DIVERSITÉ DES IMAGES

Le moindre contact avec les périodiques scientifiques, tout comme la fréquentation des congrès, suffit à convaincre de la grande diversité des images qu'on y utilise. L'étude de cette diversité exige d'abord qu'on se réfère à des dénominations communes qui désignent avec suffisamment de précision chacun des types d'images. C'est bien ici que le bât blesse, puisqu'il n'y a pas d'accord sur la terminologie et que celle-ci fait fréquemment appel à des termes d'une remarquable polysémie.

Le cas le plus flagrant est sans doute celui du vocable « diagramme ». Il réfère, pour le botaniste, à la représentation schématique d'un organe ou d'un organisme végétal; pour le statisticien, à un nuage de points dans un espace cartésien; pour l'ingénieur, à l'organigramme d'un processus. Dans nombre de disciplines, des « diagrammes » portent le nom de leur concepteur et s'avèrent de nature fort variée : diagrammes de Venn, d'Euler ou de Johnson en logique, de Watt en thermodynamique, de Feynman en théorie des champs quantiques, de Gantt en administration, de Hertzprung-Russel en astrophysique, etc. Le terme « diagramme » a reçu l'attention des sémiologues et Peirce (1978) le définit comme une catégorie d'icônes exprimant des relations – l'expression algébrique étant pour lui l'archétype. Selon Bertin (1967), le terme désigne l'ensemble des représentations, tableaux ou graphiques de toutes sortes, qui illustrent des relations entre deux ensembles, réservant l'appellation de « réseaux » aux diagrammes de Peirce.

Si la polysémie de ce seul terme est déjà potentiellement source de confusion, il faut en plus considérer le fait que les scientifiques utilisent dans leurs projections bien d'autres types d'images : des termes comme schéma, graphique et tracé recourent eux aussi des réalités fort diverses, selon le contexte. La situation est semblable en anglais, où les termes « charts », « plots », « graphs » et « diagrams » sont aussi porteurs d'ambiguïté. Au-delà de quelques tentatives peu reconnues de classifications générales des images, répertoriées entre autres par Pettersson (1993), et malgré des démarches plus récentes de systématisation comme celle de Rowley-Jolivet (2004) ou d'Arsenault

et alii (2006), il n'existe pas de taxonomie cohérente des images projetées.

Rappelons que les principes de la taxonomie sont nés des travaux de Carl von Linné. Au XVIII^e siècle, ce savant s'est donné pour tâche d'étudier la diversité des populations d'organismes vivants afin de les regrouper, de façon systématique, sur la base de leurs propriétés. La taxonomie permet de créer des catégories (des taxons) étagées qui vont du niveau le plus général au plus spécifique, selon des règles précises. La taxonomie biologique distingue ainsi des classes, qui se divisent en ordres, puis en familles, en genres et en espèces. À chaque niveau de classification, on s'attend à ce que l'ensemble des catégories décrites soit exhaustif et à ce que ces catégories soient, de plus, mutuellement exclusives. La discrimination de ces catégories se fait par rapport à un critère précis, à un même caractère qui s'exprime de façon différente, distinctive, dans chacun des groupes. On fera appel à des critères différents à chaque niveau de la classification. Le caractère peut être morphologique, tout comme il peut être fonctionnel. On peut donc créer, sur cette base, une classification hiérarchique qui décrit les groupes en se fondant sur leurs ressemblances et leurs différences.

Pareille démarche taxonomique serait vaine si elle ne s'accompagnait pas de l'attribution d'une appellation distinctive pour chaque entité définie. Chaque classe, ordre, famille et genre reçoit donc chez Linné un nom distinctif et exclusif; impossible d'en faire autant pour les espèces, leur nombre s'avérant plus important que celui des appellations imaginables. Linné a donc mis au point une nomenclature binomiale, où chaque entité se voit nommée sur la base du nom et du genre et de l'espèce, donc des deux catégories les plus fines de la taxonomie. Le recours à des racines grecques et latines permettra de créer des dénominations utilisables dans plusieurs langues. On le constate, la taxonomie permet de classer des entités sur des bases objectives, de les regrouper de façon logique, dans leur hiérarchie naturelle, et la nomenclature vient reconnaître cette classification en conférant des appellations distinctives.

On peut certainement appliquer les principes de la taxonomie et de la nomenclature à n'importe

quel regroupement d'entités, par exemple aux images de la science. Cela nous entraîne d'abord dans une démarche analytique, nous incitant à déterminer les grandes catégories d'images et leurs subdivisions, en sélectionnant des critères de discrimination performants. Sur cette base, il conviendra ensuite de définir des appellations distinctives qui permettent d'éviter les pièges de la polysémie des dénominations actuelles et la confusion qu'elle entraîne. Il s'imposera alors de créer parfois des néologismes, en espérant éviter de tomber dans l'hermétisme. Et l'objectif que l'on doit viser, plus modeste que celui des taxonomistes biologistes, est non pas nécessairement de nommer tout ce qui existe, mais de créer un cadre systématique qui permette de traiter des images de façon ordonnée et cohérente.

Une dernière précision s'impose: pareille démarche se bute à quelques obstacles. D'une part, il est impossible qu'une taxonomie mène à une description définitive de tous les types d'images concevables. L'imagerie scientifique est un domaine en pleine évolution et de nouvelles formes d'images peuvent apparaître constamment, ce qui impose une démarche évolutive. D'autre part, une taxonomie ne peut que décrire des types élémentaires d'entités: la taxonomie linnéenne ne parvient pas à nommer des bouquets de fleurs, et nous ne considérerons pas plus ici le cas de montages d'images associant des entités de nature différente, sinon pour en souligner éventuellement l'intérêt. Par ailleurs, même si l'on recourt pour une taxonomie donnée à des critères objectifs de classification, il existera toujours des solutions de rechange aux choix qui seront faits, et il est probable qu'il faille, dans certaines circonstances, adopter un autre point de vue. Enfin, précisons que nous nous attarderons uniquement aux images utilisées dans la communication, écartant d'emblée les images dites de visualisation, qui sont des instruments analytiques souvent fort complexes, interactifs et, de ce fait, fréquemment inadaptes aux activités de communication (MacEachren, 2004).

UNE TAXONOMIE DES IMAGES

Les catégories les plus larges d'une taxonomie se doivent d'être celles qui se distinguent par les

caractères les plus généraux des éléments à classer, des taxons. D'un point de vue sémiologique, une image est un signe ou un assemblage de signes. Ceux-ci sont regroupés différemment selon les écoles de pensée: icônes, indices et symboles pour Peirce (1978), signes iconiques, symboliques et plastiques pour Barthes (1964), etc. L'observation répétée de l'activité de communication scientifique permet de constater la pertinence de l'approche de Wileman (1993), qui suggère trois grandes classes d'images, sur la base du contenu qu'elles présentent et de la nature des signes qui les composent. Ce sont elles qui ont servi de point de départ à la taxonomie que nous avons élaborée (Desnoyers, 2005).

Une première classe d'images est constituée de figurations fort diverses d'entités matérielles: objets sous étude, sujets, équipements, lieux. Elle fait appel à des signes iconiques. Ces objets venant de l'infiniment petit aussi bien que de l'infiniment grand, nous les nommerons des cosmogrammes.

Une deuxième classe, plus répandue dans les projections de conférences, regroupe des images qui se composent essentiellement de texte ou de données chiffrées: langagière, elle recourt presque exclusivement aux signes symboliques de la langue et de la mathématique gérés par la typographie. C'est sur cette base que nous les nommerons collectivement des typogrammes.

Une troisième classe présente des données quantitatives inscrites à l'aide de signes qui sont des symboles graphiques disposés dans un espace calibré, par exemple – mais pas exclusivement – dans un système d'axes cartésiens. La représentation des données se fonde toujours sur une analogie entre une valeur quantitative (soit un dénombrement ou une mesure) et une dimension de l'espace (longueur, angle, etc.) et nous les nommerons de ce fait des analogrammes. Cette dernière catégorie est la plus caractéristique du discours scientifique et technique.

Chacune de ces classes regroupe des taxons qui diffèrent dans leur composition, leur conception graphique, aussi bien que l'usage auquel on les destine, lequel se fonde en partie sur l'intentionnalité conjoncturelle de l'auteur et donc sur les «affordances» des images. Le concept d'affordance

réfère à la teneur informationnelle d'un objet, telle que prélevée activement par un observateur donné, avec ses compétences et ses limites, dans un environnement donné. Il a été mis de l'avant par J.J. Gibson (1986), qui a proposé une approche écologique de la perception visuelle et de l'action. Le concept d'affordance permet de décrire combien les actions d'un sujet se fondent non pas strictement sur d'éventuelles propriétés « intrinsèques » ou « objectives » d'un objet (ou sur des normes d'utilisation établies), mais bien plus largement sur ce qu'il en perçoit et en connaît avec, nous le verrons, les abus et les erreurs que cela peut impliquer.

LES COSMOGRAMMES ET LEURS AFFORDANCES

L'analyse de la teneur informationnelle des cosmogrammes et de l'usage qui en est fait dans les communications scientifiques permet de dégager ce que sont leurs affordances.

Ainsi, les cosmogrammes sont la seule classe d'images qui permette la représentation visuelle d'une entité matérielle pour figurer sa morphologie externe ou interne. Ils se caractérisent, d'un point de vue technique, par la possibilité de faire appel à la photographie de spécimens aussi bien que le tracé plus abstrait de types plutôt que d'individus. On peut en distinguer deux ordres (fig. 1).

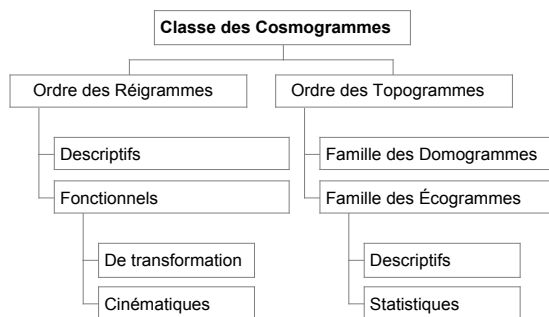


Figure 1. Taxonomie des cosmogrammes

Les réigrammes permettent la représentation d'objets qui sont d'ordinaire isolés de leur environnement. Les réigrammes descriptifs peuvent présenter la morphologie externe (en perspective ou en à-plat) ou la morphologie interne (vue en écorché, vue éclatée, vue par transparence, vue en coupe,

etc.). Les réigrammes fonctionnels permettent de représenter des transformations spatio-temporelles des mêmes entités en ayant recours à des images multiples; les réigrammes de transformation montrent iconiquement l'évolution morphologique d'une entité matérielle (par exemple le cycle de vie d'un parasite), tandis que les réigrammes cinématiques, rendus célèbres par les travaux de Marey (1894) en chronophotographie, illustrent plutôt les différentes phases d'un mouvement ou d'un déplacement.

Le second ordre de cosmogrammes est celui des topogrammes, qui représentent des lieux. Il faut ici distinguer deux familles, sur la base de la nature des lieux représentés et des conventions picturales dans chaque domaine. La première famille est celle des domogrammes, c'est-à-dire des tracés propres à l'architecture et à l'ingénierie représentant un environnement construit; le plan a ses propres lois et conventions (Chang, 2003). La seconde est celle des écogrammes qui présentent des lieux naturels, par la photographie et la cartographie. Cette famille a aussi ses propres conventions graphiques (Bertin, 1967; MacEachren, 2004), bien distinctes de celles de la carte. Les écogrammes peuvent être simplement descriptifs, mais deviennent fonctionnels ou statistiques lorsqu'ils servent de support à la présentation de la distribution spatiale, géographique, de données statistiques; les variantes sont nombreuses, décrivant soit des répartitions statiques (choroplèthes, cartes à cartouches, à histogrammes, anamorphoses) ou alors dynamiques, comme les remarquables cartes de flux de Minard (1862). Si la classe des cosmogrammes a ses affordances générales, on voit que chaque ordre et chaque famille ont également les leurs; les usagers en tiennent généralement compte, faute de s'y conformer entièrement.

LES TYPOGRAMMES ET LEURS AFFORDANCES

Les typogrammes permettent des extensions visuelles, des spatialisations du langage qui s'ajoutent en complément de la parole, écrite ou orale. Cette classe se subdivise en trois ordres distincts (fig. 2). Les scriptogrammes sont surtout utilisés en projection, moins fréquemment dans l'imprimé. L'intitulé

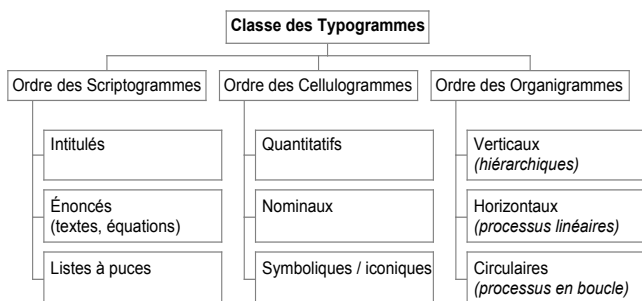


Figure 2. Taxonomie des typogrammes

permet la présentation du titre et des coordonnées de l'auteur, l'énoncé permet de souligner un concept, une définition; une variante importante de l'énoncé, l'équation, sert aussi bien l'imprimé, dans lequel elle est placée dans un hors-texte, que l'oral, où, cette fois, on la visualise puisque la parole est ici inadéquate. La liste à puces permet la présentation spatiale, instantanée, d'une série d'éléments qui sont mal servis par la seule présentation orale; elle permet également de souligner la structure hiérarchique d'un texte présenté oralement, ce que cette dernière modalité dessert fort mal. Elle constitue d'une certaine façon un métadiscours sur le texte.

Un deuxième ordre de typogrammes autorise la présentation de données catégorisées, mises chacune dans une des cellules qu'on assemble de façon matricielle. L'archétype en est le tableau chiffré, mais l'existence de nombreuses variations (et une souhaitable cohérence des dénominations dans une taxonomie) mène à préférer l'appellation de cellulogrammes. La structure des cellulogrammes est habituellement tabulaire, mais elle peut aussi

être triangulaire, dendritique, etc. Ce sont toutefois les contenus qui les distinguent le mieux: plus fréquemment quantitatifs, ils peuvent être aussi nominaux et symboliques/iconiques, selon la nature des données.

Un troisième ordre de typogrammes permet la présentation visuelle des relations entre composantes d'un système. Il s'agit des organigrammes qui décrivent les relations des composantes d'organismes, de processus ou d'ensembles conceptuels dont les éléments sont nommés dans des cases reliées par des traits. C'est la disposition graphique des organigrammes qui les caractérise: verticaux dans les organisations (ascendants dans les arbres évolutifs, descendants dans les hiérarchies), horizontaux dans les processus linéaires et circulaires pour les processus en boucle.

Les typogrammes permettent donc des présentations alphanumériques spatialisées, de natures fort différentes, et le caractère des données dicte leur conception graphique.

LES ANALOGRAMMES ET LEURS AFFORDANCES

La classe des analogrammes est la plus appropriée à la communication scientifique, c'est-à-dire à l'expression graphique, à la traduction visuelle de dénombrements et de mesures; plutôt que de représenter globalement une entité ou un processus, les analogrammes en présentent les propriétés, les variables. La classe fait appel, en principe, à la figuration de données dans un espace calibré quelconque, et quatre signes graphiques traduisent ces données - les mêmes signes que Leonardo Da

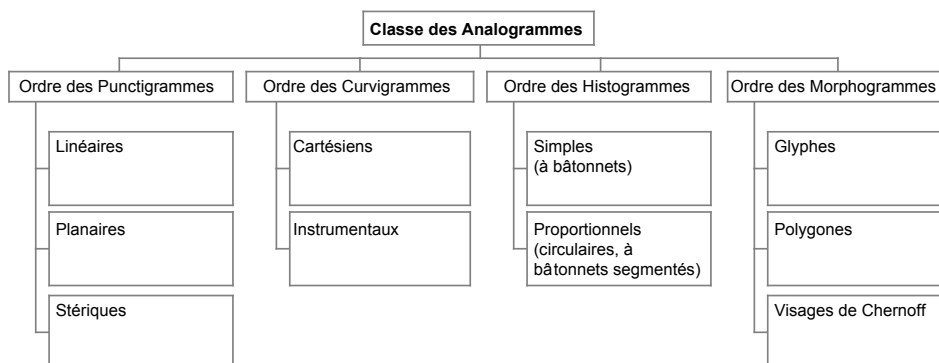


Figure 3. Taxonomie des analogrammes

Vinci nommait les « principes » de la peinture (Da Vinci *et alii*, 1989). Dans un premier ordre (fig. 3), les données sont figurées par des points pour illustrer leur répartition individuelle sous un ou plusieurs axes. Ces punctigrammes sont linéaires quand il s'agit de populations univariées (c'est-à-dire étudiées sous une seule variable), planaires s'il s'agit de mettre en rapport l'évolution de deux variables, voire stériques quand on présente la relation de trois variables. Les curvigrammes utilisent comme signe graphique le trait. Ils permettent d'exprimer non plus des données individuelles, mais bien une modélisation de la relation entre deux variables grâce à une mathématisation (réelle ou virtuelle). C'est alors l'équation de la relation qui est représentée par une courbe que l'on trace dans un espace cartésien, c'est-à-dire délimité par deux axes calibrés. Ajoutons qu'on fait souvent appel à un hybride, le puncti-curvigramme, quand il convient d'illustrer la variabilité des données individuelles schématisées par une courbe. Ces ordres se construisent d'ordinaire dans ce qu'il est convenu d'appeler le système d'axes cartésien : deux droites calibrées partent d'une même origine, la verticale portant les mesures de la variable dépendante, c'est-à-dire modulée par la variable indépendante, laquelle est portée sur l'horizontale. Il existe cependant des curvigrammes non cartésiens, obtenus par exemple à l'aide d'instruments enregistreurs produisant un tracé sur une surface en rotation, créant ainsi un système d'axes polaires.

Deux autres ordres se distinguent, qui permettent la présentation d'autres types de données. Les histogrammes font appel à un autre signe graphique, la plage, dont une seule dimension traduit une valeur quantitative. Il s'agit ici de montrer des données chiffrées, appartenant à des entités nominales, catégorielles, qu'on ne saurait, de ce fait, porter dans un système cartésien, nécessairement quantitatif. Une première famille d'histogrammes est dite simple. Elle utilise comme plages des bâtonnets horizontaux ou verticaux, disposés sur un trait qui est non pas un axe, mais une figure quasi plastique servant de lieu d'ancrage ; la longueur de chacun des bâtonnets est déterminée par le résultat de mesures ou de calculs en nombres absolus. La seconde famille est

dite proportionnelle : elle présente des données sur différentes parties d'une même population statistique en pourcentages de l'ensemble. La figure la plus connue qui porte ces données est circulaire : il s'agit du camembert des Français ou de la tarte des Nord-Américains, divisés en portions proportionnelles aux effectifs. On utilise aussi des ensembles de bâtonnets, tous de même longueur mais segmentés dans les proportions requises.

Le dernier ordre est celui des morphogrammes, qui utilisent comme signes des figures planaires de morphologie significative. Il s'agit ici de représentations qui servent essentiellement à la comparaison globale de populations de données sous plusieurs variables à la fois. On construit, pour ce faire, des figures dites « orientées-objet », c'est-à-dire dont la morphologie globale, assimilable à celle d'un objet, illustre la « forme » de la répartition des données sous différentes variables (Carswell et Wickens, 1987). Le cas le plus simple est celui de la famille des glyphes : pour chaque population, on trace autour d'un point central autant de rayons équidistants qu'il y a de variables étudiées, on les calibre et on trace sur le rayon un trait de longueur proportionnelle à la valeur de la donnée correspondante. Les différences entre populations seront traduites par la morphologie différentielle des glyphes de chacune. Deux autres familles sont utilisées. Les polygones sont de construction semblable à celle des glyphes, à cette exception près qu'on réunit les sommets des traits par un tracé continu qui définit un polygone, ce qui facilite la reconnaissance des formes. La famille des visages de Chernoff est moins connue : il s'agit ici d'associer chaque variable à un trait d'un visage humain stylisé, la forme ou la dimension du trait variant en fonction de la valeur des données.

Chaque ordre, chaque famille d'analogrammes, a donc aussi des affordances qui lui sont propres et qui dictent les modalités de son emploi. Mais cet emploi n'a rien d'éthéré : il est le fait d'un auteur, de ses intentions communicationnelles, des moyens dont il dispose. C'est ce qui nous amène à parler des modalités de l'activité de communication par le scientifique et des insertions possibles des images dans ce cadre.

GENRE DE TEXTE ET TYPE D'IMAGE

L'intentionnalité qui mène au choix de communiquer se matérialise dans un contexte d'une grande complexité, qui détermine les modalités et la construction pratique de la communication. Un des tout premiers choix du chercheur le fait opter pour une communication soit orale, soit écrite. La communication orale a souvent le statut d'une présentation préliminaire, à mi-chemin entre le rapport interne de laboratoire et la publication plus formelle dans un périodique, comme le souligne Rowley-Jolivet (2002a, b). Si cela affecte le style de discours, il y a tout aussi bien un effet en ce qui touche le recours à l'image. Il existe peu de données en la matière. Mais Rowley-Jolivet (2002b, 2004) a bien montré l'importance quantitative du recours à l'image dans la présentation orale, avec un taux moyen de 24 images par présentation d'une durée de 15 à 20 minutes, contre 5,7 par article correspondant dans les comptes rendus. Dans la foulée des études quantitatives amorcées par Cleveland (1984), et avec le même échantillon de 180 articles publiés en 1980-1981, Arsenault *et alii* (2006) dénombrent 14,6 images par article. Dans un relevé que nous avons fait sur 295 articles publiés en 2005 en ergonomie, nous avons dénombré 7,43 images par article (Desnoyers, 2009b). Compte tenu de la teneur en information beaucoup plus dense de l'article, on peut donc conclure que le choix d'une communication orale implique un recours nettement plus important à l'image.

Au-delà des différences quantitatives entre imprimé et oral, il existe des différences dans la nature des images utilisées. Ainsi, Rowley-Jolivet (2002b) constate que le recours à certains typogrammes, telles les listes à puces, est rare en imprimé, mais fréquent en projection, sans doute en raison de l'influence du logiciel de présentation PowerPoint (Desnoyers, 2009a). De même, alors que l'imprimé recourt à des cellulogrammes fort élaborés, la présentation orale ne fait d'ordinaire appel qu'à des cellulogrammes de taille réduite. Il faut reconnaître toutefois que la répartition différentielle des types d'images est encore peu documentée.

Il en va de même de la construction des images. Il n'existe pas d'étude systématique des différences

graphiques entre images imprimées et projetées, même si certains constats s'imposent d'emblée: ainsi, la légende imprimée est généralement transférée vers l'oral en conférence, et le recours à la couleur y est massif – ce que des contraintes d'ordre économique empêchent de faire dans la version imprimée des périodiques. Les auteurs s'entendent en général sur les nécessaires différences dans la conception des images à imprimer et à projeter, et les préconisations qu'ils avancent en tiennent compte (Desnoyers, 2005).

L'intention de communiquer implique également un choix quant au genre du texte à construire. On idéalise souvent ce genre en le ramenant au modèle de la présentation orale ou écrite des données obtenues suite à une recherche expérimentale. On conçoit alors la tâche du scientifique comme celle qu'impose un processus hypothético-déductif, et on s'attend à ce que le script de la communication se construise autour d'un scénario fortement conventionné, qui fait se succéder Introduction, Méthodes, Résultats, Discussion, Conclusion – la séquence «IMRDC». Or, pareille considération est fortement réductrice. Il convient de reconnaître la diversité effective des actes de communication dans les congrès aussi bien que dans les périodiques. Dans le cas des conférences, Dubois (1980) faisait le constat que, loin de s'en tenir à la séquence IMRDC, les auteurs optaient pour une structure qui s'approchait plus du conte populaire («folk narrative»), avec tout simplement une introduction, un corps composé d'un ou deux épisodes et une conclusion. La situation semble plus complexe dans le cas des articles, dont la structure est plus variable. Encore faudrait-il une typologie qui permette de s'y retrouver. Dans la lignée de celle qu'ont développée Gross *et alii* (2002), nous avons ramené cette typologie à cinq classes dans notre étude portant sur des périodiques en ergonomie (Desnoyers, 2009b):

- Revues: revue de questions, synthèse des connaissances sur un sujet donné;
- Enquêtes: résultats d'un travail d'observation ou d'enquête (entrevues, questionnaires), compilation de dossiers statistiques;
- Expérimentations;
- Modélisations: élaboration d'une modélisation

BILAN DE LA RÉPARTITION DES IMAGES DANS LES GENRES D'ARTICLES DE PÉRIODIQUES EN ERGONOMIE.

	REV	ENQ	EXP	MOD	MET	TOTAL
TOUS COSMO	<u>0,31</u>		1,43	1,43		1,27
- PICTO	<u>0,19</u>			0,66		0,42
- PHOTO	<u>0,06</u>		0,93			0,80
- HYBRIDES			<u>0,03</u>	0,11		0,05
TOUS ANALO	<u>0,69</u>		3,48			2,36
- CURVI		<u>0,35</u>		0,83		0,51
- PUNCTI				0,31	<u>0,00</u>	0,10
- PC	<u>0,13</u>		1,14			0,74
- HISTOS	<u>0,13</u>		1,64	<u>0,14</u>		0,97
TOUS TYPO	<u>2,50</u>			5,46		3,80
- C Q	<u>0,38</u>	2,61				1,82
- C N		0,76	<u>0,22</u>		0,78	0,47
- C MIX	0,44	0,44		<u>0,17</u>		0,34
- ÉQUATIONS		<u>0,05</u>		2,26		0,62
- ÉNONCÉS	<u>0,00</u>	0,58	<u>0,05</u>			0,21
- ORGANI	0,94		<u>0,04</u>	1,20		0,35
TOUTES IMAGES	<u>3,5</u>			8,86		7,43

Les valeurs indiquent le nombre d'images par article. Pour chaque catégorie d'images, figurent, en gras, les valeurs maximales et, en italique souligné, les valeurs minimales – les valeurs intermédiaires ont été omises pour éviter la surcharge.

En colonnes, les genres d'articles
 REV : Revues,
 ENQ : Enquêtes,
 EXP : Expérimentations,
 MOD : Modélisations,
 MET : Méthodologies.

En rangées, les catégories d'images
 PC : puncti-curveigrammes,
 C Q : cellulogrammes quantitatifs,
 C N : cellulogrammes nominaux,
 C MIX : cellulogrammes hybrides.

conceptuelle (théorisation) ou d'un modèle physique ou mathématique;

- Méthodologies.

On peut considérer qu'il s'agit là de genres communicationnels distincts, dans la mesure où, répondant à des objectifs différents, ils adoptent même une structure différente: la séquence IMRDC se retrouve dans les Expérimentations et les Enquêtes, mais elle n'existe pas dans les Revues et subit de nombreuses adaptations dans les modélisations et les méthodologies.

Il est logique d'avancer l'hypothèse que les affordances spécifiques des catégories d'images entraîneront un usage différentiel selon le genre d'articles. C'est ce que nous avons voulu vérifier dans l'étude à laquelle nous avons déjà fait référence sur les périodiques en ergonomie (Desnoyers, 2009b). Mentionnons que, dans le cadre de cette étude, nous avons dû procéder à une adaptation de la taxonomie décrite plus haut, afin de mieux tenir compte des types d'images utilisées par les auteurs dans ces périodiques. Ainsi, nous avons dû séparer les cosmogrammes sur la base de la technique utilisée (pictographiques *versus* photographiques) et séparer les cellulogrammes sur la base de leur contenu (nominal, quantitatif, mixte).

Les résultats de cette étude sont résumés dans le tableau ci-dessus. On y constate tout d'abord que si

la moyenne du recours à l'image, toutes catégories confondues, est de 7,43 images par article, les Revues sont le genre qui en utilise le moins (3,5) et les Modélisations, le plus (8,85). On peut dégager un portrait plus précis de chaque genre.

Ainsi, les articles du genre Revues font l'usage le plus réduit de chacune des trois classes d'images (cosmogrammes, analogrammes et typogrammes) et pour plusieurs des familles; elles occupent pourtant une deuxième place dans le cas des organigrammes, trois fois plus que la moyenne. Cette distribution s'explique probablement par la nature même du genre Revues: on constate, à leur analyse, que ces articles ne sont d'ordinaire pas le lieu de présentation de résultats particuliers et il n'est pas étonnant qu'ils fassent si peu appel à des cosmogrammes et à des analogrammes. En revanche, les Revues, présentant souvent des synthèses sur des ensembles conceptuels aussi bien que sur des processus, ont fréquemment recours aux organigrammes qui permettent de bien les visualiser.

Les Enquêtes se caractérisent de deux façons. D'une part, elles sont le genre à faire le moins appel aux curveigrammes et aux équations; comme ce sont là des instruments de théorisation, cette carence est logique. D'autre part, elles font un usage maximal des trois catégories de cellulogrammes et des énoncés. Les énoncés sont ici des citations des sujets d'étude;

il est donc logique de les retrouver dans ces articles. Les cellulogrammes constituent un moyen efficace de présenter des données quantitatives décrivant de nombreuses populations statistiques (ce que les histogrammes rendraient de manière imparfaite, la multiplication des bâtonnets gênant la lecture); il faut noter que ces cellulogrammes étaient d'ailleurs souvent volumineux dans les périodiques étudiés, occupant parfois même plus de deux pages. Dans le cas de données nominales ou hybrides, les cellulogrammes s'avèrent la seule façon d'en faire une présentation spatiale. Ces cellulogrammes ont donc les affordances dont les Enquêtes ont besoin.

Les Expérimentations font ici un usage maximal de cosmogrammes, ce qui s'explique par leur recours important à la photo. Une très forte proportion des Expérimentations étudiées se faisaient par simulation d'une tâche sur ordinateur, et beaucoup de photos représentaient l'écran et la tâche qui y était faite; il s'agit donc ici d'illustrer de façon concrète un dispositif expérimental, et c'est une précision qu'on attend dans le récit d'une expérience. Les Expérimentations font aussi un usage très faible des typogrammes et obtiennent même le score minimum dans les cellulogrammes nominaux, les énoncés et les organigrammes, ce qui est logique quand on considère les objectifs visés par ce genre d'article. Elles se caractérisent surtout par le recours maximal aux analogrammes, faisant le score maximum dans les puncti-curvigrammes et les histogrammes. Dans le premier cas, ces figures soulignent la tendance générale des données sans vouloir trop s'avancer vers une théorisation; dans le second, elles constituent le support optimal de présentation graphique de données émanant d'un petit nombre de populations (par exemple, sujets *versus* témoins, avant *versus* après, etc.) et décrites par un petit nombre de variables. Il y a donc concordance entre le contenu du genre et les types d'images utilisées.

Les Modélisations sont les championnes toutes catégories en ce qui touche l'utilisation d'images. Dans les cosmogrammes, il est logique de les voir recourir surtout aux pictogrammes, plus abstraits que les photos. Dans les analogrammes, le recours aux curvigrammes est en harmonie avec les besoins

du genre, qui favorise la théorisation. Du côté des typogrammes, le recours est maximal aux équations et aux organigrammes, ce qui convient bien à des visées de théorisation.

Enfin, les Méthodologies semblent faire un usage moyen d'à peu près tous les types d'images. Seuls émergent l'absence de punctigrammes, ce qui n'étonne pas, et un score maximum pour les cellulogrammes nominaux servant à lister des références ou à proposer des comparaisons de propriétés d'ensembles.

Le tableau d'ensemble qui se dégage de ces résultats est donc d'une bonne cohérence entre ce que l'on peut dégager des affordances des différents types d'images et leur utilisation effective dans les communications écrites des chercheurs. Il n'y a ici pas d'exclusivité dans les rapports entre image et genre d'article, ce qui est sans doute à mettre en rapport avec deux facteurs limitants. Il existe, d'une part, une certaine polyvalence des types d'images: ainsi, l'organigramme peut décrire un organisme tout comme un processus ou un ensemble conceptuel; d'autre part, dans un même genre d'article, il y a place pour une certaine variabilité: ainsi, certaines modélisations portent sur des objets (par exemple la modélisation d'une articulation squelettique), d'autres sont des exercices plus mathématiques. Soulignons d'ailleurs que, dans notre étude, 3 % des articles et presque autant des analogrammes se sont avérés inclassables dans les catégories établies; par ailleurs, il faut souligner l'absence totale du recours aux morphogrammes, un ordre d'images auquel les scientifiques font rarement appel.

COMMUNICATION ET INTENTIONNALITÉ CONJONCTURELLE

La communication est certes une activité qui est le fruit d'une intention traduite par une planification structurée du texte et des images. Mais toute activité s'inscrit nécessairement dans un contexte, un milieu externe qui se définit ici surtout par des dimensions socio-organisationnelles et techniques.

Nous avons mentionné la démonstration faite par Gross *et alii* (2002) de l'évolution du recours à l'image dans l'article scientifique à travers le

temps. Nul doute que, en matière de conférences, l'évolution technologique, qui nous a fait passer de la lanterne magique au projecteur électronique, du dessin manuel à la conception graphique sur ordinateur et à PowerPoint, a accru progressivement le recours à l'image. Ce recours croissant ne résulte donc pas nécessairement d'un choix individuel par le chercheur, mais peut-être surtout de l'évolution de la conjoncture et des pratiques sur le plan technique.

D'autres facteurs entrent en jeu, qui sont peut-être de nature «culturelle». Nous avons ainsi remarqué (Desnoyers, 2009c) qu'en ergonomie, pour un même genre d'article, la prévalence d'un type d'image est plus marquée dans certains périodiques. Ainsi, les Expérimentations publiées dans le périodique *Ergonomics* comportent 8,2 images par article, tandis qu'on en compte 7,66 dans *Human Factors* et 6,28 dans *Applied Ergonomics*; mais, en ce qui touche les histogrammes pour les mêmes articles, c'est dans *Human Factors* qu'on en trouve le plus (2,13/article), suivi par *Ergonomics* (1,52) et par *Applied Ergonomics* (1,09). Ces différences semblent résulter de pratiques éditoriales implicites, celles qui sont affichées pour ces périodiques ne comportant pas de consignes précises en la matière.

Par ailleurs, le recours aux images est certes marqué par la compétence des auteurs en matière de conception d'images. Il existe nombre d'ouvrages présentant des recommandations en la matière (Desnoyers, 2005; Doumont 2002, 2009; Kosslyn, 2007; Tufte, 1983-2006). Tous les auteurs font pourtant le même constat: les images utilisées sont très fréquemment mal conçues, inadaptées, surchargées (Tufte aura même créé deux termes pour désigner ces abus: «chart junk» et «PowerPoint phluff»). Si ces abus sont fréquents dans la communication orale – et lors du recours à PowerPoint –, nous devons d'abord signaler que la surcharge graphique à l'aide d'éléments purement ornementaux est absente du corpus que nous avons étudié. Il faut cependant noter que les chercheurs faisant appel à des logiciels de conception graphique semblent accepter d'emblée les préconisations par défaut qui y sont offertes, sans se préoccuper, par exemple, du fait que ces conseils sont peut-être

mal adaptés à leurs besoins. Pire encore, certains logiciels permettent la production de figures qui ne se conforment pas aux exigences scientifiques en matière de conception. Nous avons ainsi constaté dans notre étude (Desnoyers, 2009c) que 18% des puncti-curvigrammes utilisés étaient fautifs, présentant des données appartenant à des catégories nominales qui ne peuvent être portées sur un axe cartésien: ces images auraient dû être présentées sous forme d'histogrammes, voire de morphogrammes, mais les auteurs auront probablement cédé à la possibilité de les utiliser qu'offrent, à tort, des logiciels comme Excel.

L'intention de l'auteur est donc constamment modulée par différentes conjonctures, depuis des pratiques éditoriales implicites, les affordances parfois fautives des logiciels de graphisme, sa propre compétence et sans doute aussi ses préférences personnelles en matière d'illustration.

CONCLUSION

En somme, nous nous sommes attardé ici à montrer la variabilité en matière de communication par les scientifiques, tant en matière d'images que de textes. La variabilité des images, d'abord, est considérable, au point qu'elle n'a pas permis à ce jour de recensement systématique de l'existant. Si l'on ajoute à cette diversité le recours à des appellations hétéroclites et fréquemment polysémiques, on peut comprendre la rareté des études dans le domaine et sans doute aussi la portée limitée des rares études systématiques qui en ont été faites. C'est ce qui nous a amené à développer et à préconiser le recours à une véritable taxonomie hiérarchique des images, au-delà d'une simple typologie, ce qui permet d'en constituer une nomenclature systématique. Pareil outil, certes perfectible, permettra d'entreprendre des études comparatives plus poussées de l'utilisation des images.

Nous avons aussi voulu montrer combien cette taxonomie permet, au-delà des différences dans la conception sémiologique ou graphique des différents taxons, de préciser les affordances de chacun. La classification n'est donc pas qu'une opération de logique, elle est aussi fonctionnelle et permet de mieux identifier les utilisations efficaces de chaque taxon.

La variabilité est tout aussi importante dans les genres communicationnels utilisés par les scientifiques. Nous avons proposé et utilisé une typologie simple qui permet de rendre compte de la variabilité des articles scientifiques, et dont il faudrait étudier plus à fond la pertinence, en particulier quant à la conférence, tellement sont importantes les différences entre les deux médias (Carter-Thomas et Rowley-Jolivet, 2001) et même entre les conférences (Ventola, 2002). Pareille typologie pourrait permettre de dépasser les barrières des disciplines et ouvrir la voie à des études comparatives plus fines des communications qui y sont produites.

Nous avons aussi montré combien l'utilisation des différents types d'images varie à travers les genres d'articles scientifiques. La répartition des types d'images n'est pas fortuite, mais, malgré une certaine variabilité, elle traduit une cohérence certaine entre les intentions communicationnelles dans les différents genres d'articles et les affordances des types d'images.

Nous avons signalé que les images utilisées peuvent être porteuses d'erreurs et d'abus de conception. L'étude des images de communication scientifique doit donc, au-delà d'une approche sémiologique qui les considère comme des ensembles de signes, faire appel aux notions de base de la théorie de l'information : l'image est faite de signaux, et ces signaux sont inévitablement accompagnés de bruit. Et comme l'efficacité de la communication repose, entre autres, sur la réduction du rapport signal/bruit, il faut se préoccuper des outils et des conditions de design aussi bien que d'utilisation des images. Les constats ici faits permettent de pointer des sources de contrainte et d'inefficacité ; par exemple, la méconnaissance de certaines modalités d'expression graphique (histogrammes et morphogrammes) : les compétences et la « littératie » graphiques des scientifiques sont sans doute fort variables. À cela

peut s'ajouter une maîtrise limitée des outils de production graphique et de « présentique », lesquels ne sont par ailleurs pas exempts d'erreurs de conception. Bertin (1967) s'étonnait que la formation scolaire fasse si peu de place à l'apprentissage de la lecture et de la conception graphique. Les scientifiques ne se familiarisent souvent avec les outils graphiques qu'accessoirement, à l'occasion d'une formation en statistique, généralement sur le tas. Les prescriptions que comportent les directives des périodiques à l'endroit des auteurs, celles de divers manuels et en particulier des « Style Manuals » de certaines associations professionnelles, ne sont pas exemptes de contradictions, voire d'erreurs, ce qui ne facilite pas la tâche des scientifiques. Les formations à la communication sont encore rares dans les cursus scientifiques, alors qu'on pourrait s'attendre à ce qu'elles aient un effet bénéfique sur la qualité des communications.

Les voies qui s'offrent pour améliorer la communication scientifique par l'image sont donc nombreuses, et une approche ergonomique permet d'y contribuer progressivement. L'ergonomie n'est pas qu'une science de l'activité ; elle est aussi une technologie et, dans cette perspective, elle vise à améliorer l'efficacité de l'activité et le confort de l'opérateur, en dégageant des règles et des recommandations – c'est le « nomos » auquel elle se destine. S'il y a encore beaucoup à comprendre à l'activité de production et d'utilisation des images chez les scientifiques, il faut viser la construction d'une graphique scientifique raisonnée. La tâche sera complexe puisqu'il faudra intégrer les impératifs de la méthodologie scientifique et de la statistique, les acquis des sciences de la perception et de la cognition visuelles appliquées à la graphique, le savoir empirique construit par les graphistes, sans négliger des considérations éthiques et esthétiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARSENAULT, D.J., L.D. SMITH et E.A. BEAUCHAMP [2006]: « Visual inscriptions in the scientific hierarchy. Mapping the “treasures of science” », *Science Communication*, vol. 27, n° 3, 376-428.
- BARTHES, R. [1964]: « Rhétorique de l'image », *Communications*, n° 4, 40-51.
- BERTIN, J. [1967]: *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris, Éd. Mouton (4^e éd., 2005, Paris, ÉHESS).
- CARSWELL, C.M. et C.D. WICKENS [1987]: « Information integration and the object display. An interaction of task demands and display superiority », *Ergonomics*, vol. 30, n° 3, 511-527.
- CARTER-THOMAS, S. et E. ROWLEY-JOLIVET [2001]: « Syntactic differences in oral and written scientific discourse: the role of information structure », *ASp (la revue du Geras)*, vol. 31, 19-37.
- CHANG, F. [2003]: *Architectural Graphics*, New York, J. Wiley.
- DA VINCI, L., M. KEMP et M. WALKER [1989]: *Leonardo on Painting. An Anthology of Writings*, New Haven, Yale University Press.
- DESNOYERS, L. [2005]: *La Communication en congrès. Repères ergonomiques*, Québec, Presses de l'Université du Québec;
- [2009a]: « Le point sur PowerPoint. Dérives et confusion », *Revue internationale de communication sociale et publique*, n° 1, 145-154. En ligne: http://www.revuecsp.uqam.ca/numero/RICSP_1_2009.php-num1_desnoyers (page consultée le 1^{er} octobre 2009);
- [2009b]: « Diversité des relations image-texte dans des périodiques scientifiques: une approche quantitative », dans D. Banks, *Images et texte scientifique*, Paris, L'Harmattan (sous presse);
- [2009c]: « Tools of the trade: the differential use of visuals in Ergonomics journals » (texte en préparation).
- DOUMONT, J.L. [2009]: *Trees, Maps and Theorems*, Kraainem, Principia.
- DOUMONT, J.L. et P. VANDENBROECK [2002]: « Choosing the right graph », *IEEE Transactions on Professional Communication*, vol. 45, n° 1, 1-6.
- DUBOIS, B.L. [1980]: « Genre and structure of biomedical speeches », *Forum linguisticum*, vol. 5, n° 2, 140-169.
- GIBSON, J.J. [1986]: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Hillsdale (NJ), L. Earlbaum & Associates.
- GROSS, A.G., J.E. HARMON et M. REIDY [2002]: *Communicating Science. The Scientific Article from the 17th Century to the Present*, New York, Oxford University Press.
- KOSSLYN, S.M. [2007]: *Clear and to the Point: 8 Psychological Principles for Compelling PowerPoint Presentations*, New York, Oxford University Press.
- MACEACHREN, A.M. [2004]: *How Maps Work. Representation, Visualisation and Design*, New York, The Guilford Press.
- MAREY, É.J. [1894]: *Le Mouvement*, Paris, Masson (réimp. 1994, Nîmes, Jacqueline Chambon).
- MINARD, C.J. [1862]: *Des tableaux graphiques et des cartes figuratives*, Paris, Thunot.
- PEIRCE, C.S. [1978]: *Écrits sur le signe*, Paris, Seuil.
- PETTERSSON, R. [1993]: *Visual Information*, Englewood Cliffs (NJ), Educational Technology Publications.
- ROWLEY-JOLIVET, E. [2002a]: « Science in the making: scientific conferences presentations and the construction of facts », dans E. Ventola, C. Shalom et S. Thomson, *The Language of Conferencing*, Frankfort-sur-le-Main, Peter Lang;
- [2002b]: « Visual discourse in scientific conference papers. A genre-based study », *English for Special Purposes*, n° 21, 19-40;
- [2004]: « Different visions, different visuals: a social semiotic analysis of field specific visual composition in scientific conference presentations », *Visual Communication*, vol. 3, n° 2, 145-175.
- TUFTE, E.R. [1983]: *The Visual Display of Quantitative Information*, Cheshire, Graphics Press;
- [1991]: *Envisioning Information*, Cheshire, Graphics Press;
- [1997]: *Visual Explanations*, Cheshire, Graphics Press;
- [2006]: *Beautiful Evidence*, Cheshire, Graphics Press.
- VENTOLA, E. [2002]: « Why and what kind of focus on conference presentations? », dans E. Ventola, C. Shalom et S. Thomson, *The Language of Conferencing*, Frankfort-sur-le-Main, Peter Lang.
- WILEMAN, R.E. [1993]: *Visual Communicating*, Englewood Cliffs, Educational Technology Publications.

L'IMAGERIE COMPOSITE DANS LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE

MARTINA MERZ

INTRODUCTION¹

Dans les sciences naturelles, le média central de la communication scientifique² – l'article de recherche – ne peut être imaginé sans la présence d'images, de diagrammes, de tableaux, de graphiques et d'autres types de représentations visuelles. Ces représentations visuelles ne sont pas seulement associées à différents endroits du corpus textuel, elles font référence aussi réciproquement les unes aux autres. Cet article porte sur la contextualisation mutuelle des éléments visuels au sein d'un article scientifique, considérant, comme cas de figure, la recherche en nanotechnologie dans la perspective d'une sociologie des sciences.

Les études sociales s'intéressent aux images scientifiques depuis trois décennies³. On peut distinguer deux courants importants, dont le premier vise la *production scientifique* des images et le second, la *diffusion* des images scientifiques vers le *public*. Curieusement, la question de la diffusion des images au sein de la communauté scientifique, à travers des publications textuelles ou des communications orales, n'a reçu que très peu d'attention⁴. On peut présumer que cela est lié à la préférence de la sociologie des sciences constructiviste, de type « études laboratoires » (voir Knorr Cetina, 1995), pour les processus de construction de représentations visuelles dans le laboratoire (voir Amann et Knorr Cetina, 1990; Lynch, 1985). Le lien entre la production et la diffusion des images a alors été caractérisé comme un enchaînement de représentations visuelles, c'est-à-dire de transformations successives d'images émanant des instruments du laboratoire, depuis leur inclusion au sein des publications jusqu'à leur présentation en des lieux publics. Bruno Latour parle d'une « cascade d'inscriptions de plus en plus simplifiées »⁵ (1986: 16).

Contrairement à ces relations « sérielles » entre images (Lynch et Woolgar, 1990b: 6), les relations « transversales » (c'est-à-dire non séquentielles) entre représentations visuelles ont attiré beaucoup moins d'attention⁶. Ce sont ces *relations transversales* entre représentations visuelles *au sein d'un article scientifique* qui seront considérées ici. Une représentation visuelle sera conçue comme « une surface autonome qui est néanmoins contenue à l'intérieur d'un texte »⁷ (Lynch, 1990: 155). Cette perspective invite à discuter de la relation entre représentation visuelle et texte de manière ouverte et sans présupposition, au lieu de réduire par défaut la conception d'une représentation visuelle à son rôle (potentiel) d'illustration du texte. L'enjeu est donc d'explorer la

contextualisation mutuelle des éléments figuratifs au sein d'un article, en considérant les relations de ces éléments non seulement entre eux, mais aussi entre les éléments figuratifs et textuels.

NANOTECHNOLOGIE ET MICROSCOPIE À L'ÉCHELLE NANOMÉTRIQUE

Dans la conception publique, la nanotechnologie⁸ a une forte présence visuelle, étant associée à des images reproduites à répétition dans la presse quotidienne, les romans ou les sites Web (voir Lösch, 2006; Milburn, 2008). Bien que, typiquement, les images qui circulent dans le public – comme celles qui relèvent de la science-fiction – ne soient pas les mêmes que celles qui intéressent les chercheurs, elles jouent néanmoins un rôle clé dans la pratique épistémique de ce champ de recherche. Cela tient du caractère central des techniques et des appareils de visualisation.

Les chercheurs produisent les images par des microscopes à résolution nanométrique, comme les microscopes à effet tunnel (STM) et les microscopes à force atomique (AFM), et par des microscopes électroniques. Contrairement à la microscopie optique, qui permet d'observer des structures jusqu'à 1/10 de millimètre environ, ces formes de microscopie opèrent à l'échelle atomique. Elles permettent de visualiser et d'analyser les structures atomiques et moléculaires. Cependant, les instruments comme les STM et les AFM permettent aussi de manipuler et de produire ces structures (voir Daston et Galison, 2007: chap. 7; Mody, 2004). En exploitant des effets de la mécanique quantique, ces procédures de manipulation sont utilisées pour créer des objets (matériaux ou autres) avec de nouvelles propriétés – ce qui est considéré comme un aspect essentiel et caractéristique des nanotechnologies.

Les images de structures atomiques produites dans le laboratoire comptent parmi les plus importants résultats de la pratique en nanotechnologie. Une petite sélection de ces images, éditées de manière adéquate, se retrouve dans les publications scientifiques par le biais desquelles les chercheurs communiquent leurs résultats à leurs collègues. Le rôle crucial des images dans la recherche est mis en évidence par leur présence et par l'importance qu'on

leur accorde dans les publications. En conséquence, notre article s'intéressera aussi à la manière dont ces images sont assemblées et incorporées dans des articles, et aux effets de ces types d'assemblage.

IMAGERIE COMPOSITE: INDICATION NUMÉRIQUE

En feuilletant des revues scientifiques de nanotechnologie, on s'aperçoit, premièrement, que les figures (c'est-à-dire ce qui apparaît sous le label « figure » dans un article) sont majoritairement composées par des images microscopiques et, deuxièmement, que ces figures contiennent souvent *plusieurs* images, courbes ou schémas conjoints. Pour mieux saisir les formes d'assemblage des éléments visuels et textuels dans un article, une centaine d'études ont été analysées numériquement. La base de données est constituée par deux revues: *Nanotechnology*, fondée en 1990 et dédiée à la recherche multidisciplinaire en sciences et technologies d'échelle nano; *Advanced Materials*, revue de première qualité en sciences des matériaux, établie en 1988 et s'adressant à des chercheurs en matériaux, chimistes, physiciens, ingénieurs d'orientations diverses et de la communauté nano. Cinquante articles de chaque revue ont été sélectionnés, soit vingt-cinq, de part et d'autre, pour l'année 1993 et pour l'année 2008.

Dans les deux revues, le matériau visuel a un statut important, compte tenu d'abord de l'espace qu'il occupe et de l'abondance des images: le rapport entre représentations visuelles (incluant les légendes) et texte est environ un pour quatre. Aujourd'hui, seulement un article sur dix ne contient aucune image microscopique. Qui plus est, les chiffres indiquent aussi qu'une image microscopique apparaît rarement seule (6% des articles en 2008). Des figures avec plusieurs images microscopiques affichées en juxtaposition directe se retrouvent dans presque la moitié des articles (44% en 2008). Des figures qui combinent images et courbes sont également repérables dans des proportions similaires (48% pour AM, 56% pour NA)⁹, tandis que celles qui associent images et schémas sont moins fréquentes (24% pour AM, 4% pour NA). Les figures composites¹⁰ comportent en moyenne trois éléments. Ces

observations suggèrent que, dans de nombreux cas, les figures composites se caractérisent par une structure référentielle interne complexe. Cette évaluation rapide vaut aussi pour d'autres sources, comme les séances d'affichage.

L'abondance des représentations visuelles en général et des figures composites en particulier est à la base d'une double thèse. Premièrement, on postulera que les images sont des révélateurs de différents types de faits. Deuxièmement, on pourra affirmer que le caractère composite des représentations visuelles joue un rôle constitutif pour la communication scientifique: une image acquiert du sens dans le contexte d'autres représentations visuelles (images, courbes, schémas) et, en étant juxtaposée à elles, une dynamique se nourrit de la *multivalence factuelle des images* – notion qui sera introduite dans la prochaine section.

IMAGES, RÉVÉLATEURS DE FAITS DISTINCTS

Quelle signification donner à l'idée que, dans les publications, les images agissent comme révélateurs de faits *distincts*¹¹? Pour introduire cette notion, considérons, comme cas emblématique, l'une des images les plus étroitement associées à la nanotechnologie dans l'imaginaire public et scientifique: le logo IBM (*fig. 1*; voir Baird et Shew, 2004; Hennig, 2006 et 2009). Cette image transmet (au moins) trois types d'énoncés factuels.

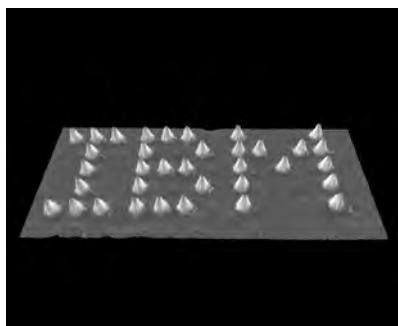


Figure 1. Logo IBM composé par des atomes individuels.
Image reproduite avec l'autorisation de IBM Almaden Research.

Fait phénoménal: Les composantes des lettres I, B et M sont des atomes individuels (dans ce cas, des atomes de xénon), chaque lettre mesurant de haut en bas cinq nanomètres. Des énoncés de ce type

désignent un fait relatif à la forme, les dimensions et la nature spécifiques du phénomène ou de l'objet d'investigation qui sont représentés par les images. Dans le cas de la microscopie à l'échelle nanométrique, il s'agit, typiquement, d'un énoncé factuel sur la structure atomique ou moléculaire de l'échantillon considéré.

Fait procédural: Pour produire l'image affichée, les atomes individuels ont été déplacés par un microscope à effet tunnel (STM). Cette donnée renvoie aux étapes et à la procédure expérimentale suivie dans la production du phénomène présenté. Le lecteur peut apprécier le fait procédural révélé par l'image sans pour autant s'intéresser aux détails du fait phénoménal (par exemple, la composition chimique de la surface sur laquelle les atomes de xénon ont été assemblés).

Fait technologique: Le STM a été utilisé pour déplacer les atomes et, par la suite, visualiser le résultat de cette manipulation. Ce type d'énoncé factuel renvoie à la capacité et au pouvoir de l'appareil et de la technologie employée. Associer les représentations visuelles aux faits technologiques est d'une grande importance au moment de l'implantation d'une nouvelle technologie. Dans ces situations, l'attention se déplace de ce qui est visualisé (le phénomène) à l'appareil déployé. Les images révèlent la capacité de la technologie sous-jacente, tandis que le phénomène visualisé assume un rôle instrumental pour mettre la technologie en valeur (voir Mody, 2005: 198).

Dès la prise de conscience du lecteur que les «gouttes» représentent des atomes individuels, l'image du logo IBM déploie son pouvoir suggestif. Parce que le dessin (I, B, M) est si manifestement artificiel – impossible de l'imaginer autrement que comme résultant d'un acte délibéré –, le *fait procédural* est inscrit dans l'image, de même que la *capacité technique* pour y parvenir. Un physicien, à qui j'ai demandé ce que l'image IBM représentait à ses yeux, la résume ainsi: «l'image montre la capacité des chercheurs de contrôler la position d'atomes qu'ils savent placer sans erreur». Le texte accompagnant l'image se contente d'ordinaire de préciser ces détails: un STM a été utilisé, les atomes xénon ont été posés sur une surface en nickel.

Le fait que les conventions esthétiques, selon lesquelles l'image a été conçue, sont connues rend l'image accessible et identifiable par un large public (Hennig, 2009). Par conséquent, l'image du logo IBM est aujourd'hui un élément central de l'iconographie de la nanotechnologie, symbolisant ainsi le pouvoir des scientifiques sur la nature. Somme toute, l'image rend hommage à l'entreprise derrière le projet. Le STM a été développé par les chercheurs d'IBM, Binnig et Rohrer, qui ont reçu le prix Nobel pour cette invention en 1986, et ce sont des chercheurs de la même entreprise, Eigler et Schweizer, qui ont fabriqué le logo à l'échelle nanométrique dans leur laboratoire (Baird et Shew, 2004; Binnig *et alii*, 1982; Hennig, 2009).

L'exemple du logo IBM (*fig. 1*) a montré qu'une seule image pouvait communiquer des faits de types différents. Toutefois, l'évaluation de l'imagerie employée au sein des articles scientifiques, dans le domaine de la nanotechnologie, suggère qu'une image microscopique apparaît rarement seule. La question se pose donc de savoir comment l'imagerie révèle des faits différents dans la publication originale qui vise un public scientifique. Le logo IBM nano est présenté à la communauté scientifique dans une « lettre » de trois pages, parue en 1990 dans la revue *Nature*, avec le titre « Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope » (Eigler et Schweizer, 1990).

L'article scientifique n'exhibe pas le logo IBM comme image *individuelle et isolée* (*fig. 1*), mais expose une *séquence* de six images, arrangée dans deux colonnes de trois images chacune (*fig. 2*). Ces six images constituent une séquence temporelle « d'images STM, prises pendant la construction d'un arrangement ordonné d'atomes de xénon sur une surface nickel (110) »¹² (légende de l'article original), démontrant des stages successifs du processus de construction.

La figure composite renforce donc l'impression de procédure et de processus en documentant le fait que la composition IBM a été produite étape par étape. Cela n'est guère surprenant, puisque l'article vise précisément à établir explicitement le succès d'une nouvelle procédure. En comparaison, le fait procédural est représenté de manière plus implicite dans le cas du logo IBM public (*fig. 1*).

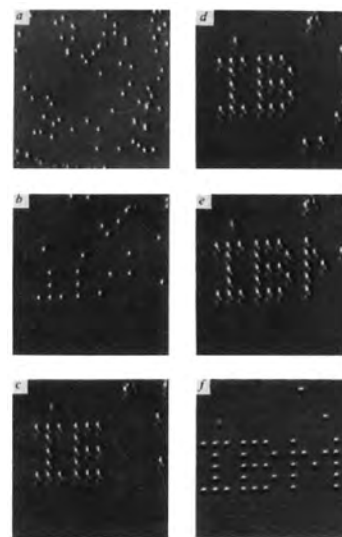


Figure 2. Réimpression de l'image créée à l'origine par la corporation IBM. Reproduite avec l'autorisation de Macmillan Publishers Ltd : NATURE © 1990 (Eigler et Schweizer, 1990 : 525 [fig. 1])

Dans les deux cas, l'imagerie du logo IBM privilégie le *fait procédural* comme étant intimement lié au *fait technologique* : comment utiliser un STM pour positionner des atomes individuels sur une surface avec précision atomique. Le *fait phénoménal* reste plus implicite, ses détails étant incorporés dans la légende et le corpus du texte. Cela s'explique par le fait que la structure « I B M » n'est pas très intéressante en soi. D'autres structures nanométriques, comme les jonctions moléculaires traitées ci-dessous, sont également intéressantes pour leurs aspects phénoménaux. La comparaison de la figure 2 avec d'autres composites représentant des faits procéduraux révèle que la démonstration séquentielle du processus de construction (*fig. 2*) est aujourd'hui typiquement remplacée par des formes de représentations composites privilégiant d'autres logiques d'assemblage.

En résumé, nous constatons que les images microscopiques peuvent transporter des énoncés factuels de différents types. Cette *multivalence factuelle* est, on peut le présumer, imputable à « l'ouverture sémiotique »¹³ des images en combinaison avec leurs « pouvoir de persuasion découlant du fait qu'elles sont considérées, simultanément, comme voix d'autorité technoscientifique et comme expressions de nature »¹⁴ (Burri et Dumit, 2008 : 305). Cela pourrait expliquer la propension des lecteurs à accorder un statut factuel

à l'image. Une image *peut* être associée à un énoncé factuel spécifique, mais ce n'est pas forcément le cas. C'est-à-dire qu'il n'y a pas de correspondance biunivoque entre image et fait. Comme dans le cas du logo IBM, une image peut aussi incorporer des énoncés factuels divers, chacun de degré différent.

Typiquement, l'image même ne détermine pas le type d'énoncé factuel sous-jacent. Cela dépend plutôt de l'interaction avec l'entourage de l'image, en fonction des autres représentations visuelles et du texte qui l'encadre. En ce sens, il s'agit d'une *propriété émergente*. Par conséquent, les faits sont communiqués non pas uniquement par des images individuelles, mais aussi par des figures composites (et bien sûr par le texte). L'imagerie composite semble donc avoir un rôle clé dans la communication scientifique. Dans la section suivante, des chercheurs en témoignent.

LECTURE ET ÉCRITURE : INTERCALER IMAGES ET TEXTES

*En regardant les figures, je devrais saisir l'histoire.
Un graphique par ici, un autre par là,
ça rend la chose difficile à lire. (Entrevue)*

Un article scientifique attire l'attention des chercheurs par sa qualité scientifique et son caractère innovateur. Mais sa visibilité dépend, de manière cruciale, de la réputation de la revue scientifique dans laquelle il paraît et de « l'emballage » des résultats. La façon dont les auteurs sélectionnent et présentent les images (et les graphiques, plus généralement) dans un article joue un rôle clé pour montrer et communiquer les résultats. Les scientifiques sont confrontés à cette question dans deux perspectives complémentaires : comme auteurs et comme lecteurs. Ils ont acquis l'expertise pour présenter les résultats sous forme d'images et de graphiques, et pour extraire les résultats d'un article et de ses graphiques en tant que lecteurs. Ces deux formes d'expertise s'informent donc mutuellement.

De quelle façon les scientifiques s'approprient-ils la littérature scientifique dans leurs champs de recherche respectifs¹⁵ ? Ils font une première sélection en visant les titres (parfois aussi les résumés) et les auteurs de

publications en vue d'identifier les articles d'intérêt potentiel. Les articles sélectionnés sont ensuite examinés de manière minutieuse, en portant une attention particulière aux graphiques et aux légendes.

Je lis le résumé, je regarde les images et les légendes – voici ce que je fais d'abord. Et puis, ça dépend, si je fais un passage rapide à travers l'article (« quickly scan »), ça dépend de son importance. (Ibid.)

Les lecteurs déplacent donc leur attention des images et de leurs légendes au texte qui les englobe. Les chercheurs suivent le même parcours lorsqu'ils écrivent un article. Dans ce cas, ils commencent par assembler les figures et continuent « à écrire l'article autour des figures » (*ibid.*). Ce faisant, les auteurs ajoutent d'abord les légendes aux figures et puis, étape par étape, le reste du texte. L'utilisation de la préposition « autour » suggère que les graphiques sont considérés comme le centre, le noyau de l'article, ce qui semble correspondre aux perspectives des auteurs et des lecteurs.

Mais comment se présente ce noyau visuel ? Est-ce un lieu central dans lequel toutes les images de l'article sont réunies ? Ou s'agit-il plutôt de nombreux centres locaux, qui chacun relie localement une partie du texte ? En pratique, ni l'une ni l'autre de ces variantes n'est employée. Par contre, les scientifiques groupent les images et d'autres éléments graphiques dans des composites qui, ensemble, « racontent une histoire » (*ibid.*). Typiquement, ce groupement aboutit à un faible nombre de figures par article, la plupart composites. Les chercheurs expliquent leur parti pris de ne pas présenter des images individuelles par le fait que cela « rend l'histoire très difficile à lire » (*ibid.*). Au contraire, « mettre l'information ensemble » (*ibid.*), sous forme de figures composites, est considéré comme un moyen d'assembler les faits correspondants en une « histoire locale », ce qui rendrait ceux-ci plus accessibles aux lecteurs.

Comme le constate Myers (1990 : 249), chaque figure correspond à un passage précis dans le texte qui y fait référence. La création de figures composites a pour conséquence d'éloigner les représentations visuelles du texte correspondant. Cette distance entre l'image et le texte auquel elle renvoie est une autre

indication du degré considérable d'autonomie du narratif, créé par les représentations visuelles et leurs légendes, dans le contexte d'une figure composite. Malgré cette autonomie locale, les figures composites d'un article sont étroitement liées entre elles, sous-entendant que le tout résume le contenu et les résultats d'une publication. L'avis qu'un chercheur chevronné donne à ses étudiants de niveau *master* en témoigne :

En regardant les figures, je devrais saisir l'histoire.

Si les figures ne me racontent pas l'histoire, il en manque une ou deux, ou bien on ne les a pas choisies de manière adéquate. (Entrevue)

Une telle conception des figures implique que les représentations visuelles soient compréhensives et évoquent toutes les décisions stratégiques et les résultats centraux qui caractérisent et mettent en valeur l'article. Dans cette perspective, le texte peut être interprété comme étant une légende étendue des figures, complétée par des informations sur la motivation de l'expérience sous-jacente et sur son lien avec des travaux similaires.

COMMUNIQUER LA RECHERCHE SUR LES JONCTIONS MOLÉCULAIRES

L'imagerie d'un article scientifique spécifique sera considérée maintenant comme second cas de figure. L'article en question est le produit de la recherche de cinq chercheurs, figurant comme auteurs, qui sont associés aux instituts de physique et de chimie d'une université suisse et qui font partie d'un important programme de recherche en nanotechnologie. Le travail s'inscrit dans le cadre de l'électronique moléculaire, domaine qui s'intéresse aux circuits ou composants électroniques assemblés à partir de molécules. L'article est paru dans la revue *Advanced Materials* avec le titre « Reversible formation of molecular junctions in 2D nanoparticle arrays » (Liao et alii, 2006).

La publication compte quatre pages. Elle est structurée graphiquement : par trois figures en noir et blanc (chacune, avec sa légende, occupant un quart de page de trois pages consécutives), par une seule section sous-titrée « partie expérimentale » (détaillant

les procédures suivies pour préparer les composantes de l'expérience), sur la dernière page, et par la liste des références bibliographiques qui clôt l'article. Les trois figures sont toutes composites : la première (fig. 3) joint six images microscopiques de tailles différentes ; la deuxième (fig. 4) réunit cinq représentations visuelles, dont deux images microscopiques, deux graphiques et un schéma ; la troisième combine deux graphiques avec une image microscopique miniaturisée insérée dans un des graphiques.

Dans ce qui suit, les deux premières figures composites seront analysées en fonction des aspects exposés ci-dessus. L'analyse est basée, premièrement, sur une « lecture » détaillée de l'article, incluant les représentations visuelles, les éléments textuels ainsi que leurs relations. Elle bénéficie, deuxièmement, des données recueillies lors d'une entrevue d'expert et par des interactions informelles avec deux des auteurs, dont le directeur de projet.

Figure 3 : composition d'images de microscopie électronique

Chacune des six images de la première figure de l'article considéré (voir fig. 3) est étiquetée par une lettre à laquelle la légende fait référence. En outre, les images sont annotées par l'échelle respective qui est réduite d'une image à l'autre (de 30µm à 100nm). La légende commence par les mots « assemblage de nanoparticules d'or (diamètre : 10nm) encapsulées dans des alcane-thiols et déposées sur un substrat SiO₂-Si – images obtenues par microscopie électronique »¹⁶, et elle est suivie de commentaires détaillés sur chaque image (Liao et alii, 2006 : 2444).

Image [a] : fait procédural

Cette image montre des bandes de largeur uniforme. Si la légende n'indiquait pas au lecteur qu'il s'agit d'une image de microscopie électronique, il pourrait confondre l'image avec une représentation schématique de la structure produite : l'image est nette et sans irrégularité apparente. La substance des bandes est identifiée par les annotations : « SiO₂ » et « colloïdes Au ». L'image semble montrer que la structure visualisée est un produit du laboratoire. La section de la légende correspondant à cette image confirme l'interprétation. On apprend que « les particules

ont été auto-assemblées à une interface air/eau, puis transférées sur un substrat à l'aide d'un timbre pré-moulé en PDMS [polydiméthylsiloxane] afin de produire des lignes parallèles de monocouches de nanoparticules»¹⁷ (Liao et alii, 2006: 2444). L'image renvoie donc à un *fait procédural*. Dans le même temps, elle montre la forme de la structure prétraitée que les chercheurs ont insérée dans l'arrangement expérimental pour effectuer des mesures (voir fig. 4).

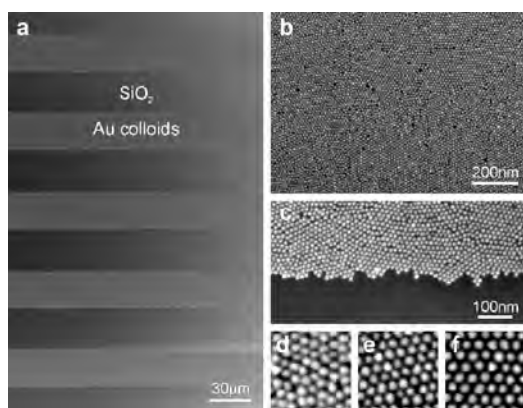


Figure 3. Images de nanoparticules en or après traitement, produites par microscopie électronique (Liao et alii, 2006 : 2444 [fig. 1]). Avec l'autorisation de © Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Images [b] à [f]: faits phénoménaux

Contrairement à l'image [a], les autres images de la figure ([b] à [f]) présentent des irrégularités et ressemblent aux résultats d'une investigation expérimentale. Elles renvoient toutes à des énoncés factuels sur des *phénomènes* qui concernent la structure atomique du réseau assemblé, mais elles caractérisent des propriétés différentes de cette structure. Selon la légende, l'image [b] indique «l'emballage compact de la structure tabulaire assemblée»¹⁸ sans accentuer un détail spécifique; l'image suivante démontre que les bords sont «bien définis».

Les images [d], [e] et [f] sont alignées horizontalement et groupées dans le coin droit en bas de la figure. Ces images gagnent une signification par voie de comparaison entre elles, ce qui rend les particularités visibles: par exemple, le fait que «l'ordre s'améliore et l'écartement entre particules augmente» (légende) en se déplaçant de [d] vers [f]. La différence de structure s'explique par des alcanes-thiols de type différent utilisés pour stabiliser l'assemblage

de nanoparticules. Les énoncés factuels sous-jacents correspondent aux *phénomènes*: les structures nanométriques des différents types d'assemblage de nanoparticules.

Figure composite: articuler procédures et phénomènes

Dans la perspective de la figure composite entière (à l'opposée d'une image individuelle ou de paires d'images), la question des faits sous-jacents trouve une réponse différente. La combinaison des images met en évidence le fait que l'assemblage a été construit et que ses propriétés varient avec la composition des ligands. Ainsi, la figure composite articule des énoncés factuels de *procédure* et de *phénomène*. Un coup d'œil sur le texte suffit pour illustrer cette association de phénomène et de procédure; en regroupant les images [a] et [c], il est possible de démontrer que «la technique de déposition produit des réseaux de nanoparticules bien ordonnés»¹⁹ (*ibid.*). Dans ce contexte, la représentation schématique [a] devient, simultanément, un plan de production pour l'assemblage et une démonstration de la procédure suivie, et elle révèle la structure qui en découle. Le directeur de projet résume le procédé ainsi:

Nous voulons montrer qu'il est possible de créer des structures bien définies, c'est-à-dire que la procédure de déposition est bien contrôlée et que les détails de ces structures sont également contrôlés. (Entrevue)²⁰

Peut-être est-ce parce que les lecteurs sont aujourd'hui habitués à la sophistication de la microscopie électronique qu'ils n'associent plus, au même degré, les images avec la technologie sous-jacente. Les *faits technologiques* associés à la microscopie ne sont donc pas spécialement accentués par les images. Cela n'implique pas que les capacités techniques en général sont devenues moins importantes: elles se sont seulement déplacées, par exemple vers les technologies de production et d'assemblage des échantillons ou des structures. Ces faits technologiques sont toutefois toujours bien raccordés aux faits procéduraux.

Figure 4: images microscopiques et résultats de mesures

La deuxième figure du texte (voir fig. 4) est un cas exemplaire d'un composite complexe combinant

images, graphiques et schémas. Son titre, « Mesures de transport à travers un réseau de nanoparticules avant et après échange moléculaire »²¹ (première phrase de la légende), indique qu'il s'agit de mettre en évidence les résultats de l'expérience. Le composite constitue un ensemble de représentations visuelles dans lequel chaque élément apporte des informations contextuelles nécessaires pour pouvoir apprécier les éléments avoisinants. C'est une figure qui « raconte une histoire » (voir plus haut la section « Lecture et écriture »).

Images [a] et [d]: microscopie à but distinct

Les images de microscopie électroniques [a] et [d] se ressemblent par leur taille et leur encadrement, mais elles diffèrent dans leurs fonctions. La première agit comme présentation schématique de l'agencement expérimental: deux contacts carrés ont été évaporés sur un réseau de nanoparticules de largeur « W », selon la légende. Cette description renvoie au statut fabriqué de l'agencement et donc à un fait procédural. Les deux images en [d] montrent la structure moléculaire du réseau et renvoient donc à des faits phénoménaux.

Cependant, l'aspect procédural est néanmoins très présent car ces images représentent deux phases

de l'expérience: avant et après le traitement du réseau par OPE (oligo phénylène éthylnylène), nom qui désigne une famille de molécules. Dans l'expérience décrite, le réseau est immergé dans une solution OPE. Pourquoi donc s'intéresser à la structure du réseau de nanoparticules dans des phases différentes? Cela conduit le lecteur à l'idée derrière l'expérience et à ses résultats.

Graphique [b]: les mesures et leur contexte

Les deux contacts montrés en [a] sont mis sous tension et le courant qui circule est mesuré. Ces mesures sont représentées sous la forme typique de courbes courant/voltage en [b]. Pourtant, le résultat scientifique central de l'expérience ne consiste pas uniquement en une courbe de ce type, mais en la superposition de plusieurs courbes. Pour comprendre le message central de l'expérience, le graphique seul ne suffit pas. Il nécessite la proximité d'autres représentations visuelles du composite qui lui servent de contexte. Voici le narratif sous-jacent:

La numération des courbes « 1,3 » et « 2,4 » renvoie à quatre phases de l'expérience. Comme mentionné ci-dessus, le réseau est traité par OPE. La courbe 1 indique les mesures avant ce traitement et la courbe 2, celles d'après (avec les structures moléculaires montrées en [d]). L'hypothèse selon laquelle l'effet de ce processus peut être annulé en immergeant le réseau de nanoparticules dans une solution d'octane-thiol (au lieu d'OPE) est corroborée par les mesures correspondantes: l'annulation est révélée par la courbe 3 chevauchée sur la courbe 1. Le processus continue avec une immersion en OPE reconduite, résultant en courbe 4.

Cependant, la figure composite offre au lecteur non seulement les résultats des mesures, mais aussi une interprétation du phénomène observé. Le schéma [c] est ainsi mis au premier plan et présente une schématique du processus d'échange moléculaire. Les dessins montrent les nanoparticules encapsulées par alcane-thiols, avant (gauche) et pendant (droite) le traitement OPE qui est lui-même visualisé par une flèche. L'idée est maintenant celle que les molécules OPE – qui sont visualisées par la serpentine sous la « rosette » gauche – pénètrent la couche octane-

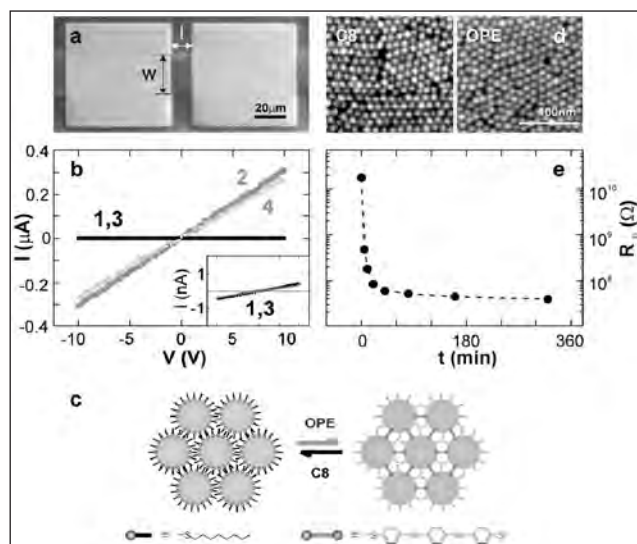


Figure 4. Figure composite présentant des mesures de transport (Liao *et alii*, 2006 : 2445 [fig. 2]). Reproduite avec l'autorisation de © Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

thiol et s'attachent par une liaison chimique aux nanoparticules. De cette façon, un réseau de jonctions moléculaires est créé qui entraîne la réduction de la résistance et donc la hausse du courant, comme le montre le graphique [b]. Ainsi, les correspondances à travers les représentations visuelles sont marquées graphiquement par l'utilisation du noir et du gris: les courbes en gris sont associées au traitement OPE, de même que la flèche grise dans le schéma. En fin de compte, le graphique [e] montre la dépendance de la résistance en fonction du temps de l'immersion dans OPE.

OBSERVATIONS

L'esquisse du chemin suivi pour interpréter les deux figures composites donne lieu à plusieurs observations. Premièrement, c'est un aspect caractéristique de la recherche en matériaux à l'échelle nano que des nouvelles structures moléculaires sont artificiellement créées: cela met en évidence l'image comme vecteur de faits procéduraux. Toutefois, les images de microscopie à l'échelle nanométrique révèlent aussi des faits phénoménaux et technologiques. L'émergence d'un de ces types comme aspect dominant dépendra du contexte de l'image aussi bien que de l'expertise et de l'intérêt spécifiques du lecteur (voir Bazerman, 1988: chap. 8). Le contexte d'une image est plus ou moins étendu. La légende, par exemple, peut indiquer le type de fait qui sera communiqué par l'image. À l'inverse, un article entier peut être explicitement associé à un type de fait précis. C'est le cas de l'article scientifique présentant les images du logo IBM dont l'objectif est de communiquer le fait procédural touchant la fabrication de ce type de structures.

Deuxièmement, le composite constitue un environnement dans lequel des faits concernant *procédure, phénomène et technologie* circulent et sont entrelacés. Typiquement, une figure composite n'a pas d'ordre de lecture défini. Bien que chaque représentation visuelle soit numérotée de manière consécutive, une figure composite invite le lecteur à tracer son propre chemin à travers l'imagerie pour construire l'histoire sous-jacente. Par ailleurs, la notion «d'ordre de lecture» est trompeuse parce que

les lecteurs ne suivent pas une trace linéaire à travers les différentes composantes. Une géométrie complexe (non séquentielle), comme dans la figure 4, invite à ce type de lecture, ce qui nous conduit à la prochaine observation.

Troisièmement, une figure composite est caractérisée par de *multiples références croisées* entre ces composantes individuelles, chacune acquérant signification et statut de facticité au vu de l'autre (voir Alac, 2004; Bastide, 1990). Les références croisées assument des formes typiques de référence: par exemple, comparaison avec un élément alternatif (échantillon, représentation instrumentale, représentation visuelle, etc.), zoom (c'est-à-dire modification d'échelle), abstraction et concrétisation (image *versus* schéma), etc. Dans l'article considéré, toute la gamme des formes de référence est utilisée. La comparaison assiste l'œil dans l'identification des particularités. Les références croisées existent aussi entre figures diverses, notamment entre une figure illustrant l'échantillon par images microscopiques et une figure documentant les résultats mesurés en forme de graphiques.

Quatrièmement, la *légende* agit comme adhésif entre les parties individuelles d'un composite. Elle complète ce qui reste ouvert et équivoque dans le matériau visuel. Mais elle renforce aussi le message transmis par les représentations visuelles (voir les exemples ci-dessus). Qui plus est, la légende constitue un intermédiaire entre le texte continu et l'imagerie. Dans ce rôle, la légende rend possible l'attachement des faits à leurs qualificatifs et à l'information contextuelle concernant les origines, les bases expérimentales et la valeur attendue des faits.

CONCLUSION

Cet article a tenté de démontrer l'intérêt des figures composites pour transmettre les messages centraux de publications scientifiques. Compte tenu du fait que la communication scientifique sous forme d'articles n'a que très rarement recours aux images isolées, la thèse présentée ici établit que les chercheurs en nanotechnologie ont besoin de plus d'une image pour convaincre et se laisser convaincre. Les images microscopiques sont typiquement enlacées dans des

composites. La puissance de cet enlacement réside dans la multiplicité des énoncés factuels qui circulent dans cet ensemble. Dans ce sens, le composite présente un récit non seulement des phénomènes, mais encore des procédures suivies et des technologies appliquées dans la recherche. La communication de résultats de recherche, par voie de composite, exploite le potentiel et la propension des lecteurs à se construire des *narrations de l'expérience* sous-jacente : ces histoires parlent d'instruments, de procédures suivies, d'échantillons traités, préparés et analysés. Cela introduit un ordre temporel dans l'interprétation des graphiques. Bien qu'il s'agisse d'un ordre fortement reconstruit, bien éloigné d'un rapport chronologique qui serait fidèle à l'expérience effectuée au laboratoire, il présente aux lecteurs un guide utile qui permet de dévoiler le fonctionnement des représentations visuelles. Ce mécanisme prend effet parce que les membres d'une communauté scientifique partagent des conventions visuelles, une expertise relative à la production, l'édition et l'interprétation des images ou d'autres représentations visuelles, etc. Les chercheurs sont rompus à ces techniques de représentation en tant qu'auteurs et comme lecteurs, ce qui implique qu'ils savent alterner les perspectives à titre d'essai.

La comparaison, à travers le temps, de la figure 3 de l'article publié en 2006 avec la figure 2 de l'article dans *Nature* en 1999 rend visible la complexité accrue dans la constitution du composite récent. La tendance vers une plus grande complexité dans l'imagerie composite est aussi apparente dans l'échantillon des revues analysées. L'une des personnes interrogées offre une explication de cette observation, en arguant qu'il ne suffirait plus de montrer simplement des images microscopiques à l'échelle atomique pour justifier une publication. L'utilisation expérimentée de microscopie à l'échelle atomique serait aujourd'hui considérée comme une simple routine. Les attentes envers ce qui est aujourd'hui valorisé comme résultat intéressant ou comme procédure innovante se sont modifiées en conséquence. Les faits phénoménaux, en combinaison avec des faits procéduraux relatifs à la constitution de l'échantillon sous-jacent, se trouvent au cœur de l'intérêt, cependant que les faits

technologiques liés à l'utilisation de la microscopie à l'échelle nanométrique perdent de l'influence.

La préférence actuelle pour la communication de résultats par voie d'imagerie composite complexe est en résonance avec cette conception des résultats de recherche en tant que *faits multiples associés*. Les composites, typiques des publications en nanotechnologie d'aujourd'hui, semblent donc suivre aussi l'évolution de ce domaine de recherche.

NOTES

1. Cet article est fondé sur la recherche menée au sein du projet « *Pratique épistémique, organisation sociale et culture scientifique : Configurations de la recherche en nanosciences en Suisse* », financé par le Fonds national suisse de la recherche scientifique. Je remercie les chercheurs en nanotechnologie de m'avoir accueillie dans leur laboratoire pour cette étude.
2. Sur le genre de l'article expérimental, voir Bazerman (1988).
3. Lynch et Woolgar (1990a) ont réuni une collection importante d'articles, sous le titre *Representation in Scientific Practice*, qui a lancé les représentations scientifiques comme thème central des études sociales des sciences. Pour une introduction récente à l'analyse et à la pratique sociale de la visualisation et de l'imagerie scientifique, voir Burri et Dumit (2008).
4. Il y a quelques exceptions : Desnoyers (2005) sur la communication en congrès et plusieurs articles dans la collection de Lynch et Woolgar (1990a). Voir aussi le chap. 3, « Image et publications », d'Allamel-Raffin (2004).
5. Notre traduction de « cascade of ever simplified inscriptions ».
6. Pour des exceptions, voir Alac (2004), Bastide (1990), Lynch (1990) et Myers (1990).
7. Notre traduction de « an autonomous surface that is nonetheless contained within a text ».
8. Dans cet article, « nanotechnologie » est aussi utilisée comme synonyme de nanoscience, au singulier ou au pluriel. Ce choix est motivé par deux réflexions : premièrement, il vise à améliorer la lisibilité de l'article ; deuxièmement, il est imputable au fait que la distinction entre les notions « nanotechnologie » et « nanoscience » est une affaire débattue dans les communautés concernées.
9. Abréviations utilisées : AM, *Advanced Materials* ; NA, *Nanotechnology*.
10. Par la suite, la notion « figure composite » renvoie à une composition qui assemble plusieurs images, courbes ou schémas dans un cadre commun, complémentée par une légende commune et associée à un numéro de figure spécifique. La revue *Advanced Materials* appelle ce type de structures « multi-panel images ». Cette terminologie n'est pas adoptée ici pour éviter la confusion. La notion « image » est réservée à une représentation visuelle individuelle, typiquement en contraste avec d'autres types de représentations visuelles, comme les schémas ou les courbes.
11. Voir, pour une approche complémentaire, Allamel-Raffin (2006), qui propose une typologie d'images et de leurs fonctions, inspirée par la sémiotique de Peirce.

12. Notre traduction de « of STM images taken during the construction of a patterned array of xenon atoms on a nickel (110) surface » (Eigler et Schweizer, 1990 : 525).
13. Notre traduction de « semiotic openness ».
14. Notre traduction de « (scientific images') persuasiveness depends on their being regarded as the simultaneous voice of technoscientific authority and as expressions of nature ».
15. Ces observations sont fondées sur des entrevues qualitatives avec des chercheurs chevronnés dans le domaine de la nanotechnologie.
16. Notre traduction de « electron microscopy images of alkanethiol-capped gold nanoparticles (diameter 10nm) on a SiO₂-Si substrate ».
17. Notre traduction de « the particles were self-assembled at an air/water interface and transferred to the substrate with a PDMS stamp to form parallel lines of nanoparticle monolayers ».
18. Notre traduction de « the dense packing of the array ».
19. Notre traduction de « the stamping technique yields spatially well-positioned arrays ».
20. Notre traduction de « We want to show that we can define something nicely, so the stamping process is well controlled, and the detail of the structure is also controlled ».
21. Notre traduction de « Transport measurements through a colloid array before and after molecular exchange ».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALAC, M. [2004]: « Negotiating pictures of numbers », *Social Epistemology*, vol. 18, n° 2-3, 199-214.
- ALLAMEL-RAFFIN, C. [2004]: *La production et les fonctions des images dans la recherche en physique des matériaux et en astrophysique*, thèse de doctorat, Strasbourg, Université Louis Pasteur;
- [2006]: « La complexité des images scientifiques. Ce que la sémiotique de l'image nous apprend sur l'objectivité scientifique », *Communication et langages*, n° 149, 97-111.
- AMANN, K. et K. KNORR CETINA [1990]: « The fixation of (visual) evidence », dans M. Lynch et S. Woolgar (dir.), 1990a, 85-121.
- BAIRD, D. et A. SHEW [2004]: « Probing the history of scanning tunneling microscopy », dans D. Baird, A. Nordmann et J. Schummer (dir.), *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam, IOS Press, 145-156.
- BASTIDE, F. [1990]: « The iconography of scientific texts: principles of analysis » (trad. par G. Myers), dans M. Lynch et S. Woolgar (dir.), 1990a, 187-229.
- BAZERMAN, C. [1988]: *Shaping Written Knowledge: The Genre and Activity of the Experimental Article in Science*, Madison (WI), University of Wisconsin Press.
- BINNIG, G. et alii [1982]: « Surface studies by scanning tunneling microscopy », *Physical Review Letters*, vol. 49, n° 1, 57-60.
- BURRI, R.V. et J. DUMIT [2008]: « Social studies of scientific imaging and visualization », dans E. J. Hackett et alii (dir.), *The Handbook of Science and Technology Studies*, Cambridge (MA), MIT Press, 297-317.
- DASTON, L. et P. GALISON [2007]: *Objectivity*, New York, Zone Books.
- DESNOYERS, L. [2005]: *La Communication en congrès*, Québec, Presse de l'Université du Québec.
- EIGLER, D.M. et E.K. SCHWEIZER [1990]: « Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope », *Nature*, n° 344 (avril), 524-526.
- HENNIG, J. [2006]: « Changes in the design of scanning tunneling microscopic images from 1980 to 1990 », dans J. Schummer et D. Baird (dir.), *Nanotechnology Challenges: Implications for Philosophy, Ethics and Society*, Singapour, World Scientific Publishing, 143-163;
- [2009]: *Bildpraxis: Visuelle Strategien in der frühen Nanotechnologie*, Bielefeld, Transcript.
- KNORR CETINA, K. [1995]: « Laboratory studies: The cultural approach to the study of science », dans S. Jasanoff et alii (dir.), *Handbook of Science and Technology Studies*, Thousand Oaks (CA), Sage, 140-166.
- LATOUR, B. [1986]: « Visualization and cognition. Thinking with eyes and hands », *Knowledge and Society: Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, n° 6, 1-40.
- LIAO, J. et alii [2006]: « Reversible formation of molecular junctions in 2D nanoparticle arrays », *Advanced Materials*, n° 18, 2444-2447.
- LÖSCH, A. [2006]: « Anticipating the futures of nanotechnology: Visionary images as means of communication », *Technology Analysis & Strategic Management* (n° special: *Sociology of Expectations in Science and Technology*), vol. 18, n° 3-4, 393-409.
- LYNCH, M. [1985]: « Discipline and the material form of images: An analysis of scientific visibility », *Social Studies of Science*, n° 15, 37-66;
- [1990]: « The externalized retina: selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences », dans M. Lynch et S. Woolgar (dir.), 1990a, 53-186.
- LYNCH, M. et S. WOOLGAR (dir.) [1990a]: *Representation in Scientific Practice*, Cambridge (MA), MIT Press;
- [1990b]: « Introduction: Sociological orientations to representational practice in science », dans M. Lynch et S. Woolgar (dir.), 1990a, 1-18.
- MILBURN, C. [2008]: *Nanovision: Engineering the Future*, Durham et London, Duke University Press.
- MODY, C.C.M. [2004]: « How probe microscopists became nanotechnologists », dans D. Baird, A. Nordmann et J. Schummer (dir.), *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam, IOS Press, 119-133;
- [2005]: « Instruments in training: The growth of American probe microscopy in the 1980s », dans D. Kaiser (dir.), *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*, Cambridge (MA), MIT Press, 185-216.
- MYERS, G. [1990]: « Every picture tells a story: Illustrations in E.O. Wilson's Sociobiology », dans M. Lynch et S. Woolgar (dir.), 1990a, 231-265.

LE RÔLE DES VISUELS DANS UN ARTICLE DE REVUE SCIENTIFIQUE LA FORMATION D'UN MONTAGE-TYPE

JACQUES FONTANILLE

PRÉAMBULE: OBJECTIFS ET OBJET DE L'ÉTUDE

Cette étude portant sur un seul article scientifique¹ est exploratoire: il s'agit de repérer les questions pertinentes, touchant à l'usage des modalités sémiotiques visuelles dans le discours scientifique, et notamment celles qui ont trait (i) aux relations entre l'argumentation verbale et les visuels, et (ii) à la forme propre des montages visuels, ainsi que leurs valeurs argumentatives et persuasives. Cette étude portera donc spécifiquement sur les types sémiotiques utilisés dans les montages visuels appelés plus couramment « figures », sur leurs agencements syntagmatiques et sur leur participation aux parcours argumentatifs principalement portés par le discours verbal. Elle montrera très précisément comment et pourquoi un tel article scientifique invente un type de montage sémiotique, pour résoudre une tension argumentative qui tient au positionnement éditorial de la revue elle-même.

En effet, l'article choisi présente l'avantage de combiner plusieurs types d'images et de graphiques scientifiques, qui participent explicitement à l'argumentation globale, mais qui, en raison de leur nombre, de leur densité et de leur diversité, développent par eux-mêmes une stratégie persuasive presque continue, tout au long de l'article. Mais il faut préciser immédiatement que, comme n'importe quel autre texte, il appartient à un genre, il est déterminé par un cadre éditorial, et son orientation argumentative ainsi que son système d'énonciation en découlent; il obéit donc à quelques contraintes spécifiques qui doivent être prises en considération.

De fait, la revue *Chocs* est une revue institutionnelle, destinée à diffuser les travaux d'un organisme de recherche national, le CEA (Commissariat à l'énergie atomique); elle s'adresse ainsi à la fois aux communautés scientifiques concernées et aux différents partenaires institutionnels: financeurs (état, industries, etc.), partenaires scientifiques (universités, autres organismes) et bénéficiaires des transferts de technologie (industries, commanditaires, etc.). L'article étudié ne prétend donc pas présenter une découverte, mais seulement faire état d'un ensemble de travaux et de résultats convergents. Néanmoins, il conserve de l'article scientifique *stricto sensu* l'exigence d'un appareil expressif, verbal et visuel, emprunté aux articles de revues internationales indexées. Ce positionnement éditorial se reconnaît, tout d'abord, aux références bibliographiques, qui renvoient pour moitié à d'autres articles de la revue *Chocs* et aux thèses effectuées dans un laboratoire associé au CEA, et, pour le reste, à des revues internationales de physique appliquée.

Du point de vue des stratégies argumentatives et des organisations discursives, on doit donc s'attendre à ce que les articles proposés dans cette revue conjuguent la persuasion scientifique *stricto sensu* à des procédés de nature didactique. L'ensemble est en outre globalement orienté par un objectif de «valorisation» institutionnelle, comme l'indique le préambule de l'article, qui rappelle la nature des «compétences spécifiques de caractérisation de ces matériaux [composites] à l'échelle macroscopique (acquises depuis plus de 20 ans)», et annonce la présentation des nouveaux apports des «travaux récents» au sein du CEA. La dimension didactique et la valorisation institutionnelle impliquent certes un biais argumentatif (le texte s'efforce de prouver plus que la stricte vérité scientifique), mais ce biais offre un avantage considérable pour notre propos, en raison de l'amplification et de la diversification de l'expression visuelle qu'il suscite (imagerie scientifique, graphiques, schémas, diagrammes, équations, etc.).

LES ENJEUX ARGUMENTATIFS DE L'ARTICLE

Il s'agit de démontrer l'apport des méthodes dites de «changements d'échelles» (micro → méso → macro) dans la compréhension du comportement d'un type de matériaux spécifiques, les «composites carbonés», en conditions thermiques extrêmes. Mais, comme ces méthodes sont déjà connues et largement exploitées dans les communautés scientifiques, l'objectif spécifique de l'article est de mettre en valeur l'apport technologique propre au CEA, concernant «les moyens expérimentaux et les méthodes d'identification des propriétés en température».

1. Résumé de l'argumentation

a. La première étape (comportement macroscopique en conditions extrêmes: la très haute température)

Elle consiste en une comparaison entre le comportement du graphite monolithique et celui des composites carbone/carbone (dits «C/C», c'est-à-dire «matrice en graphite + fibres de carbone»). Cette comparaison vise à établir le seuil thermique de la modification du comportement, et plus précisément du passage d'un comportement «élastique» (déformation linéaire) à un comportement «plastique-

visqueux» (déformation générale). Les conditions thermiques extrêmes sont définies non seulement par le niveau de température atteint (sous-contrainte mécanique d'étirement), de 20°C à plus de 3000°C, mais aussi par la vitesse de la montée en température (elle dure moins de 20 secondes, pour une valeur de référence de 160°C/s²).

Pour le graphique monolithique, le seuil de changement de comportement se situe à 1800°, et pour le composite C/C, à 2300°. La différence est d'abord expliquée globalement par le caractère hétérogène des composites: en l'occurrence, une matrice en graphite, renforcée par des fibres de carbone non «graphitables»³, dites «fibres ex-PAN»; la plus grande résistance des composites à la montée en température s'explique alors par la différence de *diffusivité thermique* entre la matrice et les fibres ex-PAN. La *diffusivité thermique* mesure le transfert de chaleur à l'intérieur d'un matériau, que ce soit un composant (fibre) ou un composite, et ce, par conséquent, à chacune des trois échelles d'analyse (micro, méso, macro).

Toute la suite de l'article va donc consister à examiner ces phénomènes de diffusivité thermique aux trois échelles d'observation, avec un détail d'analyse croissant.

b. La deuxième étape (caractère multi-échelle des composites texturés)

Elle expose les trois échelles de structures:

- à l'échelle microscopique (moins de 10 microns), le renfort de carbone est composé de «fibres»; ce sont les «composants» du matériau composite;
- à l'échelle mésoscopique (moins de 100/300 microns), ce renfort est composé de «fils» de carbone; ce sont des «minicomposites»; et enfin,
- à l'échelle macroscopique (quelques millimètres), le renfort est composé de «mèches» de carbone; il s'agit du matériau composite en tant que tel.

Le choix de l'échelle d'observation est essentiel, dans la mesure où les variations de comportement observées peuvent être déterminées aussi bien par les propriétés électriques et thermiques de la fibre que par le mode d'assemblage du fil, ou par le mode de

composition des mèches, chacun de ces déterminants induisant des phénomènes d'interface spécifiques entre fibres, fils et mèches et la matrice.

c. *La troisième étape* (identification des échelles et comportements clés)

Elle consiste à trouver les techniques d'exploration appropriées pour reconnaître l'échelle à laquelle se manifeste la détermination pertinente du comportement global du matériau.

- Le *comportement microscopique ex situ* est analysé sur une fibre isolée, dont on caractérise la résistivité électrique, la capacité thermique propre, la diffusivité thermique et les capacités mécaniques de dilatation longitudinale et transverse.
- Le *comportement microscopique in situ* est analysé sur des fibres à l'intérieur des matériaux composites, grâce à deux appareils de visualisation :
 1. le microscope photorélecteur mesure les variations thermiques locales, en surface de la fibre et de la matrice (échelle micrométrique), à partir d'un signal laser réfracté et capté par une photodiode;
 2. le microscope infrarouge mesure les mêmes phénomènes sur les mèches (échelle mésométrique), à partir d'un signal infrarouge.

L'analyse de ces signaux, compte tenu de la fréquence de modulation de la source de chaleur ainsi que de la conductivité thermique du matériau, permet de dégager des valeurs de diffusivité.

Ces valeurs sont elles-mêmes classées en deux types, qui donnent lieu à deux formes visuelles différentes :

- pour un matériau dit « isotrope », comme les fibres ex-PAN, les isothermes forment une image circulaire concentrique autour du point de chauffe; on en déduit que la diffusion est transverse, égale en toute direction;
- pour un matériau dit « anisotrope », comme les fibres ex-Brai, les isothermes forment une image elliptique plus ou moins resserrée autour du point de chauffe; on en déduit alors que la diffusion est radiale, et qu'elle est bloquée sur la circonférence.

La différence s'explique par la structure même du matériau, selon que la direction transverse, dans le cas isotrope (fibre ex-PAN), ou que la direction radiale, dans le cas anisotrope (fibre ex-Brai), y est prépondérante.

Suivent deux exemples de caractérisation multi-échelle de composites C/C: celle des fibres de carbone ex-PAN (isotrope) et ex-Brai (anisotrope), et un exemple de caractérisation d'une matrice de polycarbonate (fortement anisotrope). Dans le cas d'un matériau anisotrope, deux mesures doivent être effectuées, donnant deux images différentes: en coupe longitudinale et en coupe transversale; en effet, un même matériau peut être isotrope en coupe transversale et anisotrope en coupe longitudinale.

L'analyse des exemples semble conduire à homologuer les modèles de diffusivité thermique aux niveaux microscopique et mésoscopique, mais cette homologation n'apparaît clairement que dans les visuels, et plus précisément dans les images de diffusion circulaire ou elliptique, avec tous les degrés intermédiaires d'aplatissement de l'ellipse qui sont les mêmes d'une échelle d'analyse à l'autre. Ce qui permet aux auteurs de conclure ce point ainsi:

*Ces résultats illustrent parfaitement la dualité microstructure/comportement au sein des matériaux carbonés, non seulement aux échelles mésoscopiques et microscopiques, mais aussi à l'échelle nanométrique de l'organisation des atomes de carbone.*⁴ (p.81)

- Le *comportement mésoscopique ex situ* est analysé sur des fils de carbone isolés.
- Le *comportement mésoscopique in situ* est analysé notamment dans les interfaces entre torons de fibres, mèches et matrice, entre mèches et mèches, sous formes de propriétés mécaniques, en particulier de cisaillement et de frottement.

La méthode utilisée (dite d'« extraction de toron », au niveau mésoscopique, et « de mèche », au niveau macroscopique), permet, grâce à une traction continue exercée sur le matériau, de déterminer le seuil de « décohésion » entre composants, en fonction des niveaux de température. Un changement de direction sur la courbe d'extraction représente alors le

moment où le toron ou la mèche se désolidarisent de leur voisinage.

Il est précisé que la méthode n'est actuellement au point que pour le niveau mésoscopique, et doit être finalisée pour le niveau macroscopique, notamment par une plus grande spécification des méthodes d'exploration et de visualisation.

2. Commentaire sur le profil argumentatif général

De fait, cet article suit parallèlement deux parcours argumentatifs⁵, qui sont en tension l'un par rapport à l'autre, tension qui demande résolution.

Le premier consiste à démontrer que le même type de phénomènes, obéissant aux mêmes types d'effets visualisables (donc aux mêmes catégories de caractérisation), peut se produire à chacune des trois échelles d'analyse, mais avec une pertinence inégale selon les échelles; par conséquent, de ce point de vue, la bonne stratégie de caractérisation est celle qui va identifier le niveau pertinent.

Le second parcours consiste à définir le « bloc » de propriétés caractéristiques de chacun des niveaux d'analyse, la diffusivité thermique étant typique du niveau microscopique, la mécanique des interfaces (frottement) semblant caractéristique du niveau mésoscopique et la cohésion/décohésion, du niveau macroscopique; l'objectif est alors inverse puisque, de ce point de vue, il s'agit de « traduire » ce qui se passe à une échelle donnée dans les termes de ce qui se passe aux autres échelles.

Mais, si les propriétés spécifiques, l'autonomie des modèles et la pertinence analytique du niveau microscopique semblent à peu près stables, il n'en va pas de même, comme on l'a déjà signalé, pour les deux autres niveaux, car, à la fin de l'article, tout se passe comme si la continuité du réel physique sous-jacent continuait à s'exprimer, faute de discontinuité suffisante dans les procédés d'exploration⁶.

La tension entre les deux parcours argumentatifs – pour le premier, il se passe la même chose aux trois niveaux d'analyse, et pour le second, il se passe des choses différentes sur chacun d'eux – résulte donc, du point de vue de l'expérience scientifique, de l'insuffisante différenciation des méthodes d'exploration et de visualisation, et l'on peut supposer

que le système des figures va s'efforcer de résoudre cette difficulté. En effet, du point de vue de la stratégie discursive, cette même tension argumentative demande résolution, et elle la trouvera en partie, comme on va le voir, dans la composition des encarts visuels, qui auront notamment pour rôle d'arbitrer entre les deux parcours, et de tenter de résoudre la tension induite par l'exposé verbal des résultats scientifiques.

LES TYPES VISUELS

1. Les types techniques

Les types techniques se définissent principalement par la manière dont ils réalisent matériellement (techniquement) la séquence canonique dite de l'« exploration » :

Excitation / Signal-réponse / Transduction / Visualisation

(Fontanille, 2007)

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des techniques et de leurs effets sémiotiques, renvoyant pour cela à plusieurs travaux antérieurs récents (Fontanille, 2007 et 2008); nous signalerons seulement le genre de technique et le type d'objet qu'il permet de visualiser.

- a. *La microscopie électronique à transmission (MET)* permet de visualiser les microstructures des matériaux: alignement des plans⁷ de carbone (fig. 2), alternance des fibres et de la matrice (fig. 4), etc., et ce, pour des champs de taille dite millimétrique. Rappelons ici seulement que cette technique permet d'obtenir un « rendu 3D » par reconstruction d'image et donc des effets de texture visuelle plus élaborés.
- b. *La microscopie électronique à balayage (MEB)* ne donne à voir en revanche que des textures de coupes sans aucune profondeur ou effet 3D (fig. 10⁸), et ce, pour des champs de taille mésométrique (plusieurs centaines de μm ⁹).
- c. *Les microscopies par photoréflexion et par infrarouge* permettent de visualiser l'analyse des signaux de diffusion thermique, la première au niveau microscopique (quelques μm) et la seconde au niveau mésoscopique (quelques centaines de μm). Elles produisent toutes deux, *in fine*, des diagrammes hybrides (mi-courbes, mi-icônes), qui

permettent de visualiser les modes de propagation de la chaleur (cf. fig. 8, 9 et 10) quel que soit le niveau d'analyse.

- d. *Les courbes en espace cartésien* visualisent des seuils mesurables de changement de comportement des matériaux en combinant, chaque fois, deux variables paramétrables (une sur chaque axe). Elles décrivent notamment: (i) le passage du comportement élastique au comportement plastique (fig. 2 et 3) au niveau microscopique, et (ii) le passage de l'état de cohésion à l'état de décohésion (par extraction) (fig. 12) au niveau méso/macrosopique.
- e. *Des schémas* visualisent soit des processus d'exploration selon la séquence canonique déjà évoquée – *excitation de la cible, signal-réponse, transduction, visualisation* –, soit des structures macroscopiques de matériaux – (fig. 5); cela peut s'interpréter, dans un cas comme dans l'autre, comme un refus de l'anecdote photographique et un choix de représentation faiblement figurative, visant le type ou le genre, plutôt que l'occurrence.

On peut donc considérer, en regard des parcours argumentatifs déjà signalés, que ces six types techniques de visualisation se partagent en deux catégories:

- D'un côté, les techniques qui sont spécifiques d'un niveau d'analyse exploitent un mode d'excitation qui ne fonctionne que pour une échelle donnée, et produisent un mode de visualisation qui lui est propre.
- D'un autre côté, les techniques qui ne sont spécifiques d'un niveau d'analyse que par leur mode d'excitation (on pourrait alors parler d'«échelle d'excitation») produisent des modes de visualisation identique pour tous les niveaux d'analyse (cf. les images de diffusion thermique).

2. *Les types sémiotiques*

Les types sémiotiques sont définis par le mode d'expression sémiotique qu'ils adoptent, ce dernier étant caractérisable par un certain nombre de propriétés de visualisation¹⁰. Nous proposons ici une ébauche de typologie qui n'est pas empruntée

à la sémiotique générale, mais qui est appropriée aux usages de l'image dans le cadre du discours scientifique, et tout particulièrement dans l'article étudié: la dénomination de chaque catégorie d'images évoque les types de «contenus» qu'elles expriment.

A. LES IMAGES-TEXTURES

Ces images s'apparentent, visuellement, à la photographie en noir et blanc; constituées principalement de dégradés de gris (au plan de l'expression), elles donnent à voir des formes matérielles et des textures singulières (au plan du contenu), en 2D ou en 3D, selon que le système d'exploration est doté ou pas d'une capacité de synthèse de la profondeur de champ. Les dégradés et modelés ont donc globalement pour contenu une composition ou une architecture de parties et de sous-parties qui sont toutes de même genre, mais d'espèces différentes, et qui ne peuvent être distinguées les unes des autres que sous un mode de visualisation approprié. En outre, elles partagent avec la photographie l'effet de témoignage et d'occurrence singulière: «cela a été», et «cela a été saisi tel que cela a été».

B. LES IMAGES-ÉNERGIE

Ces images sont des diagrammes colorés, qui visualisent des mesures expérimentales. Elles représentent des niveaux d'énergie (contenu), inscrits à la fois (expression) dans le tracé des «isothermes» et dans la couleur des plages intermédiaires, chaque couleur correspondant à un niveau d'énergie¹¹. Ces images-énergie sont de même type que, par exemple, les diagrammes colorés qui, à la sortie d'une IRM (imagerie par résonance magnétique), représentent des niveaux d'activité électrochimique dans les neurones cérébraux. Ce type d'expression graphique et chromatique donne donc à voir ce qui, par définition, est invisible par absence de substance, indécomposable en parties de quelque genre que ce soit.

Dans l'article analysé, on rencontre aussi (fig. 5) un graphisme coloré qui, exceptionnellement, renvoie à une structure de matériau et des textures; comme on le verra, cette exception (ce n'est pas une «image-

énergie») participe d'une structure argumentative spécifique.

Mais, dans un cas comme dans l'autre, celui des images-énergie ou celui du diagramme coloré des structures, le diagramme se déploie dans l'espace propre de l'objet analysé.

C. LES IMAGES-CONCEPTS

Ces images sont en général des schémas techniques qui représentent la structure conceptuelle et générique (contenu) d'un appareillage ou d'un matériau, et leur lecture n'est possible que sous les conventions particulières qui assignent telle ou telle valeur aux formes géométriques (expression) qui les composent. Globalement, par conséquent, l'expression géométrique et schématique a ici pour contenu l'organisation conceptuelle d'un système matériel, qui, sous le contrôle de ces conventions particulières, associe des parties, de genre et de rôle différents, au sein d'un assemblage cohérent (qui peut être un processus, un système ou une structure). L'organisation conceptuelle est «invisible», au sens où, en tant qu'abstraction, elle peut être exprimée sans pour autant être manifeste, c'est-à-dire sans être accessible à l'intuition¹². Seul le schéma conventionnel parvient à la fois à lui procurer une expression et une manifestation sensible.

D. LES IMAGES-PROFILS

Ces images sont des courbes mathématiques, c'est-à-dire des tracés dont le profil est contraint par les variations conjuguées sur les deux axes cartésiens. Ces deux axes de contrôle substituent à l'espace propre aux objets, et à la différence des trois types d'images précédentes, un nouvel espace, celui de l'analyse de leurs propriétés. Elles expriment des profils d'évolution de processus (contenu); les profils d'évolution eux-mêmes manifestent des propriétés transformationnelles (des micro-récits profonds) qui ne sont accessibles par ailleurs qu'à travers le récit des expériences, ou sous forme de modélisation mathématique.

Mais le micro-récit profond n'est constitué que d'une transformation entre deux états, dont l'ensemble ne peut être établi qu'une fois la

transformation achevée. De cette transformation «massive» et accomplie, le profil d'évolution du processus se distingue par le fait qu'il manifeste l'état du processus en tout moment de son développement, en quelque sorte «en acte». En outre, il manifeste des propriétés qui ne sont pas entièrement réductibles à celles du micro-récit transformationnel. La transposition verbale du récit d'expérience ne pourrait donc exprimer le profil d'évolution lui-même.

Par ailleurs, ce profil peut être exprimé par une autre voie: l'équation mathématique, mais cette expression n'est pas une manifestation sensible du profil d'évolution; elle en révèle tout au plus le principe régulateur abstrait; la traduction mathématique en équation montre bien une forme spécifique du changement, mais sans pouvoir, néanmoins, la *manifeste* d'une manière qui soit accessible à l'intuition¹³.

Il faut donc supposer que l'organisation narrative profonde du micro-récit transformationnel, le profil d'évolution du processus, et le profil graphique de la courbe obéissent ensemble à ce qu'on pourrait appeler un même *schème dynamique*, qui peut être exprimé à différents niveaux de manifestation, du plus abstrait au plus sensible et intuitif (et c'est la courbe graphique qui se charge de cette dernière manifestation). Ce schème commun caractérise un *événement-type*, qui lui-même révèle une *propriété dynamique* du système physique auquel il advient. Dans l'article analysé, les profils d'évolution pertinents (et donc les propriétés dynamiques visées) sont tous non linéaires, et les courbes valent principalement, sinon exclusivement, pour les seuils de bifurcation qu'elles visualisent: seuils de changement de comportement, seuils d'extraction ou de rupture, etc.

Ces courbes sont elles-mêmes de deux types, correspondant à des processus génératifs différents: la «courbe brute» et la «courbe théorique».

- La *courbe brute* est un tracé de visualisation obtenu par transduction d'un signal issu de l'expérience: elle est donc proche parente du cas précédent, celui des diagrammes. Mais le référent du diagramme est l'espace occupé par l'objet, alors que celui de la courbe est l'espace défini par les axes cartésiens. Au lieu d'exprimer des niveaux d'énergie, elle

manifeste donc un profil d'évolution, sous contrôle de la variation de paramètres d'énergie, qui sont eux-mêmes exprimés par les degrés sur les axes cartésiens.

- La *courbe théorique* est un tracé de visualisation qui, tout en exploitant les mêmes paramètres sur les axes de contrôle, est obtenu non par transduction d'un signal expérimental, mais par l'application d'une équation aux valeurs de ces paramètres. Elle est donc une pure « image-profil ».

Les quatre types visuels repérés, sous des modes d'expression forts divers, ont donc tous pour contenu des *propriétés de l'invisible*. Mais chacun des modes d'expression se spécialise en quelque sorte dans une catégorie particulière de l'invisible: (i) l'invisible indistinct, pour les *images-textures*, (ii) l'invisible non substantiel pour les *images-énergie*, (iii) l'invisible non figuratif, pour les *images-concepts*, et enfin (iv) l'invisible non manifeste, pour les *images-profil*.

L'ORGANISATION ARGUMENTATIVE DES IMAGES

1. Les séquences visuelles

L'identification des types n'est pas un but de l'analyse, mais une étape qui permet ensuite d'étudier les stratégies argumentatives et persuasives dont elles sont porteuses, en rapport avec celles de l'article scientifique dans son ensemble. La mise en œuvre des figures visuelles dans le discours scientifique procède, ici même, et sans doute beaucoup plus généralement, par séquences d'images. En effet, la plupart des figures sont ici composées en séquences, tantôt homo-sémiotiques, tantôt hétéro-sémiotiques.

A. LES SÉQUENCES HOMO-SÉMIOTIQUES

Elles sont constituées d'images appartenant au même type sémiotique. La séquence repose alors sur une allotope, exprimée par des changements plastiques, figuratifs ou iconiques à l'intérieur du même type visuel.

Par exemple, la *figure-séquence 1* est à la fois homo-sémiotique, puisqu'elle est composée de deux courbes juxtaposées, et allotope, puisque l'une visualise la cinétique des chocs thermiques et l'autre, le profil d'évolution de la déformation sous traction. La

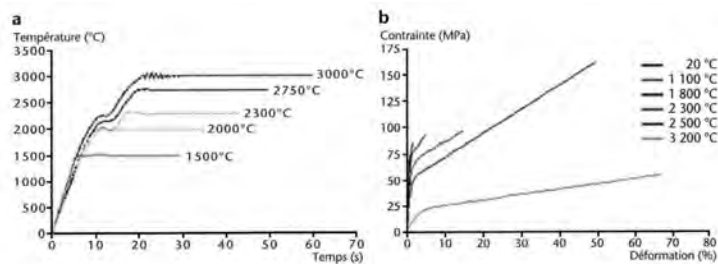


Figure 1

signification de la séquence est donc narrative, dans la mesure où le passage d'une courbe à l'autre est un enchaînement entre une condition modale (une cause-condition préalable) et une performance (une action-conséquence).

La *figure-séquence 2* est à la fois homo-sémiotique, car il s'agit de deux photos MET, et faiblement allotope, puisqu'elle montre seulement la différence de structure du même matériau à 20°C et à 3200°C. Sa signification est elle aussi narrative, puisqu'elle présente l'enchaînement entre l'état initial et l'état final d'une transformation, sans en exprimer figurativement les conditions.

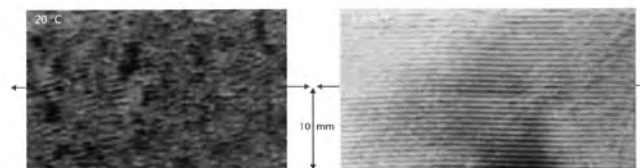


Figure 2

La *figure-séquence 4* est homo-sémiotique pour la même raison, et faiblement allotope de la même manière; mais, à la différence de la précédente, le changement d'état du matériau (à 20°C, puis à 3000°C) est accompagné d'un changement de point de vue (coupe transversale, puis coupe longitudinale). La séquence à la fois narrative, puisqu'elle enchaîne un état initial et un état final, c'est-à-dire les deux pôles d'une même transformation, et argumentative, en raison du changement de point de vue, qui précise les limites de la transformation.

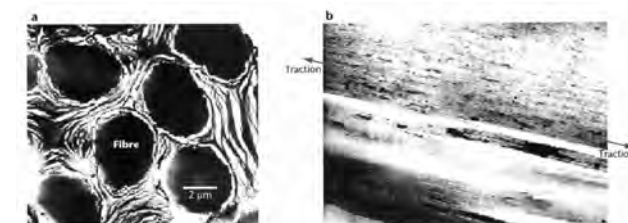


Figure 4

La *figure-séquence* 7 est elle aussi homo-sémiotique, mais dans un enchaînement purement rhétorique, et non narratif, puisque les deux images de diffusion thermique correspondent à deux matériaux différents: c'est donc le contraste discriminant qui est recherché, sur le fond d'une similitude de technique d'exploration, de transformation narrative et de mode de visualisation.

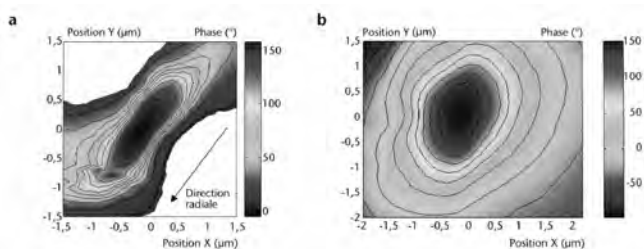


Figure 7

B. LES SÉQUENCES HÉTÉRO-SÉMIOTIQUES

Elles enchaînent au moins deux types sémiotiques différents. La gamme des combinaisons possibles étant très étendue à partir de quatre types sémiotiques et d'un nombre indéfini de places dans les séquences, nous nous contenterons d'examiner les séquences hétéro-sémiotiques utilisées dans l'article analysé. On distinguera à cet effet deux types d'hétéro-sémiotité: marginale et radicale; *marginale* quand, sur un fond de similitude sémiotique, la figure exploite au moins deux variantes de la modalité sémiotique et conjugue donc au moins deux régimes de croyance et de persuasion différents; *radicale* quand la séquence de figures et sa légende affichent explicitement leur hétérogénéité comme principe de composition.

(i) L'hétéro-sémiotité marginale

La *figure-séquence* 6 est présentée comme homo-sémiotique (deux «micrographies»), mais la première image est en 3D avec profondeur, modelé, et rendu de l'espace intermédiaire (ombres, vide, etc.), et la seconde, entre 2D et 3D, avec une ébauche de profondeur-épaisseur; l'une manifeste une profondeur et un relief, outre les textures, alors que l'autre ne donne à voir que les détails d'une texture en épaisseur. On doit postuler une transformation du «régime de croyance» entre les deux; visiblement, la seconde est la stylisation graphique d'une image

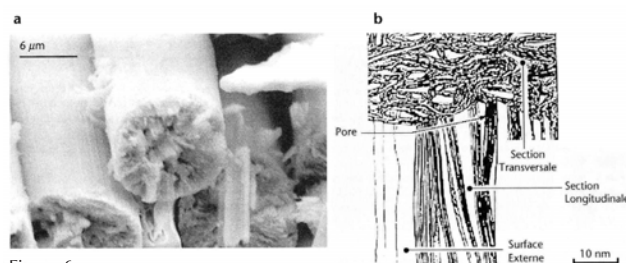


Figure 6

figurative qui était du même type que la première, et cela, à des fins didactiques, puisque chaque partie en est, en outre, indexée et annotée. La séquence est donc de nature rhétorique, avec un mouvement de schématisation conceptuelle d'une image à l'autre.

La *figure-séquence* 12 est elle aussi présentée comme homo-sémiotique (deux «courbes d'extraction»), mais avec cette précision: «brute et analysée en tracé logarithmique». La première est donc une courbe brute et la seconde, une courbe théorique; la séquence (définie ailleurs dans l'article comme un «ajustement théorique») est donc encore de type rhétorique, puisqu'elle donne un échantillon du parcours argumentatif grâce auquel une courbe-occurrence peut être ramenée à une courbe-type, l'occurrence étant fournie par l'expérience concrète, et le type, par l'équation mathématique¹⁴. C'est encore un mouvement de schématisation, mais qui, à la différence du précédent, passe non pas par une schématisation conceptuelle, mais par la recherche du modèle mathématique le plus proche, cette recherche étant elle-même fondée sur la reconnaissance iconique de la courbe-type à partir de la courbe-occurrence.

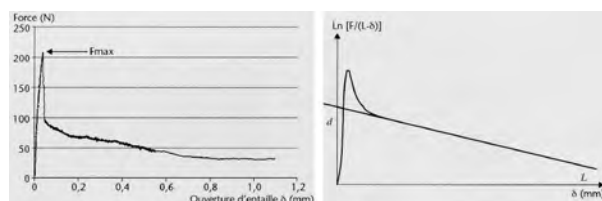


Figure 12

(ii) L'hétéro-sémiotité radicale

La *figure-séquence* 5 est composée d'une image issue d'un microscope (pour le niveau microscopique), d'un diagramme coloré (pour le niveau mésoscopique) et d'un schéma géométrique conventionnel (pour le

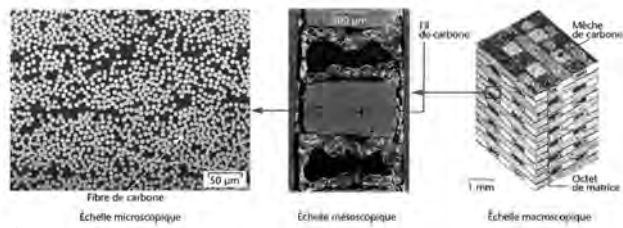


Figure 5

niveau macroscopique). L'objectif est clair: il s'agit, en matière de distinction entre les trois échelles d'observation, de faire mieux et plus persuasif visuellement que l'explication verbale. Alors que la distinction entre les trois niveaux est parfois indécise dans l'argumentation verbale, elle est radicale dans la présentation visuelle, grâce à l'utilisation de trois modalités sémiotiques et de trois régimes de croyance différents:

Image-texture → graphique coloré → schéma conceptuel

La séquence visuelle des changements de niveau nous fait parcourir trois « mondes » sémiotiques: les modes d'expression changent, notre rapport à la forme et à l'espace des matériaux change, les codes mis en jeu changent, de même que les régimes de représentation et de persuasion.

Enfin, les *figures-séquences* 8, 9, 10 constituent l'agencement hétéro-sémiotique le plus complexe et le plus abouti de tout l'article.

La *figure 8*, par exemple, enchaîne une image de microscopie, un diagramme coloré des niveaux d'énergie, et un jeu de courbes transposées dans un espace cartésien. Le parcours est composé de trois opérations en deux étapes: (i) une *analyse des niveaux d'énergie*, entre la photo qui localise le point de chauffe, et le diagramme qui représente la diffusion, et (ii) une *schématisation*, par extraction des courbes brutes pertinentes (par projection des courbes mathématiques appropriées). Toutefois, la troisième image, bien qu'elle soit obtenue par «ajustement théorique», n'est pas une véritable image-profil, car les axes cartésiens ne représentent pas des propriétés de l'objet, et se contentent de schématiser des dimensions de l'espace propre de l'objet.

La *figure 9* conjugue trois types de transformations: (i) une transformation hétéro-sémiotique, entre

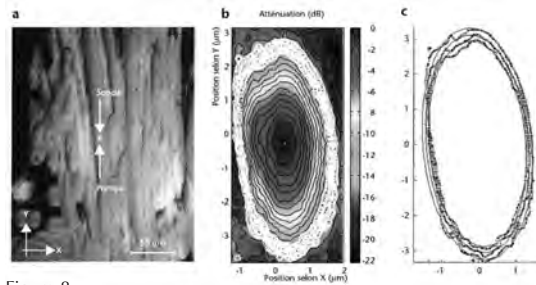


Figure 8

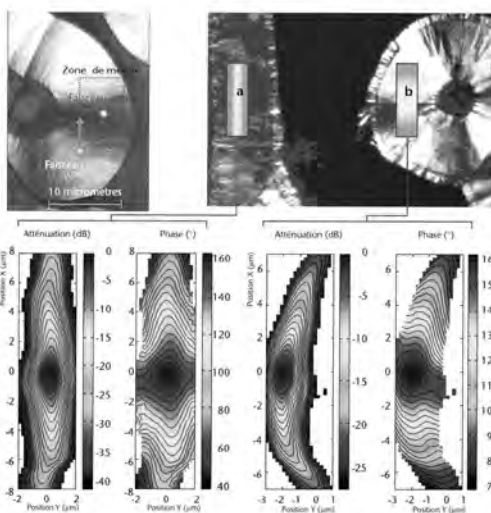


Figure 9

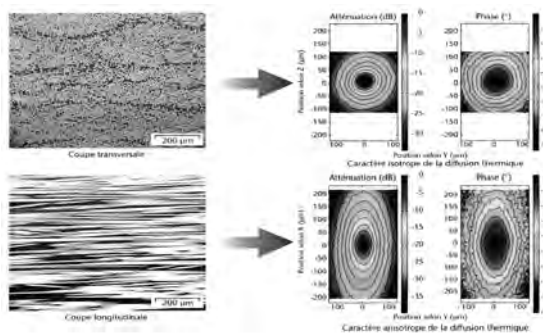


Figure 10

deux images de microscopie et deux ensembles de diagrammes colorés qui, selon le même principe rhétorique que ci-dessus, visualise l'analyse énergétique, et (ii) deux transformations homo-sémiotiques. La première est appliquée aux deux précédents, et il s'agit d'un changement de point de vue (coupe longitudinale vs coupe radiale) qui permet des recoupements dont sera dégagée la valeur de diffusivité; la seconde est appliquée au résultat de la première transformation (les diagrammes colorés),

pour distinguer deux états successifs des niveaux d'énergie et de leur mesure: l'état «atténuation» et l'état «phase»; cette troisième transformation est donc de signification narrative. En bref, on applique à une transformation des niveaux d'énergie (atténuation/phase) une transformation des points de vue (longitudinal/radial), tout en visualisant au préalable la localisation de l'événement ainsi analysé.

La *figure 10* reproduit la même organisation: une vue microscopique des deux coupes et deux diagrammes colorés pour les niveaux d'énergie de chacun des deux points de vue, un diagramme pour l'atténuation et un autre pour la phase.

Il faut maintenant rapprocher ces trois ensembles de figures-séquences: elles forment alors globalement une séquence de comparaison discriminante, sur le principe déjà observé pour la seule *figure 7*; mais la comparaison s'est complexifiée et combine plusieurs paramètres de comparaison, en vue d'une véritable argumentation globale, au terme de laquelle on comprend que les valeurs discriminantes caractérisent non pas seulement des matériaux différents, mais aussi des points de vue différents sur les structures, et des moments énergétiques différents.

Les séquences d'images qui composent les figures ont donc toute la complexité d'une stratégie discursive, séparément d'abord, et par accumulation progressive ensuite. On a pu ainsi repérer des organisations narratives, des procédés rhétoriques et argumentatifs et, en entrant dans le détail des mises en séquence, des transformations par schématisation, profilage, changement de point de vue, analyse énergétique, etc. Une fois combinées en une même séquence, toutes ces opérations constituent une sorte de discours second, qui explicite les opérations narratives, cognitives et argumentatives conduisant au résultat de la recherche.

Dans cette perspective, une *répartition des rôles* se dessine:

- d'un côté, les séquences homo-sémiotiques expriment,
 - (i) quand elles concernent le même objet, soit une transformation narrative, si le point de vue est le même, soit une opération rhétorique de persuasion, si le point de vue change;

- (ii) quand elles concernent deux objets différents, une opération rhétorique de comparaison discriminante;

- de l'autre côté, les séquences hétéro-sémiotiques expriment,
 - (i) quand elles concernent le même objet sous le même point de vue, des niveaux d'analyse ou des échelles d'observation;
 - (ii) quand elles concernent le même objet sous plusieurs points de vue successifs, des opérations rhétoriques d'analyse, de schématisation, de profilage, etc.;
- et enfin, la mise en séquence de deux ou plusieurs séquences hétéro-sémiotiques de structure identique, mais appliquée à des objets différents, peut jouer le même rôle de comparaison discriminante qu'une séquence homo-sémiotique.

2. La contribution des images au parcours argumentatif

Les séquences visuelles offrent, on l'a vu, des organisations argumentatives et persuasives intrinsèques, indépendamment du discours verbal. Elles se spécialisent même, selon leur composition sémiotique, dans tel ou tel mode argumentatif, narratif ou rhétorique.

Mais, si on se reporte maintenant à l'orientation argumentative générale de l'article, et notamment à la tension observée entre les deux parcours et les deux stratégies, on peut constater qu'ils sont inégalement pris en charge par les séquences visuelles. Observons quelques cas:

- a. Les séquences homo-sémiotiques de type narratif ne sont propres à aucune des échelles d'observation; le même principe peut s'appliquer aux trois échelles, et la seule manière de différencier ces dernières consisterait à affecter à chacune un type sémiotique. Or, ce n'est pas le cas, car les transformations entre courbes ou entre diagrammes colorés concernent indifféremment l'une ou l'autre échelle d'observation. Seules les microphotographies, par définition, concernent le niveau microscopique.
- b. Les séquences homo-sémiotiques de type rhétorique ne sont pas plus spécifiées selon les échelles d'observation.
- c. Les séquences hétéro-sémiotiques sont globalement

exploitées de deux manières :

- (i) pour exprimer la différence entre échelles d'observation (cf. *supra*, fig. 5);
- (ii) pour exprimer les transformations rhétoriques dans le parcours d'analyse d'une expérience (localisation, schématisation, profilage), et ce, sur une même échelle d'observation.

Une séquence-type apparaît au début, qui pourrait procurer une représentation visuelle stable à la distinction entre les trois échelles d'observation, et qui consiste à affecter à chacune d'elle, pour un même objet, et sous un même point de vue, un type sémiotique et un régime de croyance spécifique. Parallèlement, les séquences homo-sémiotiques, ainsi que les séquences hétéro-sémiotiques, à plusieurs objets ou à plusieurs points de vue, restent disponibles pour toutes les autres figures narratives ou rhétoriques. Mais cette solution est abandonnée aussitôt que proposée, puisque le même agencement est ensuite utilisé dans l'article à de toutes autres fins.

Il faut alors supposer qu'une autre perspective argumentative prend alors le dessus, qui dépasse la tension entre les deux premiers parcours envisagés, et que cette autre perspective est principalement portée par les visuels. Cette perspective est celle de la valorisation institutionnelle des recherches évoquées; en effet, la séquence hétéro-sémiotique complète et enchaîne systématiquement les types visuels en trois positions canoniques :

- en première position, une image représentative, une texture figurative;
- en deuxième position, un diagramme coloré, analyse des niveaux d'énergie ou analyse de structure;
- en troisième position, une image « théorique », schéma conceptuel, diagramme théorique ou courbe mathématique.

La séquence s'établit alors de la manière suivante :

[image-texture figurative → image-diagramme analytique → image-schéma théorique]

Elle constitue un *motif stylistique* susceptible de connoter globalement la compétence technologique

de l'opérateur de recherche. *En tant que motif*, il constitue une forme canonique établie par récurrence et superposition, et il s'autorise même une variante à la troisième étape (schéma conceptuel, ou diagramme théorique, ou courbe mathématique); *en tant que stylistique*, il caractérise une énonciation, un acte et son responsable. Et cette caractérisation est celle, double, de la systématité de la séquence en même temps que la diversité technoscientifique des approches : en somme, d'un côté, la « rigueur », et de l'autre, la « richesse » des compétences mises en œuvre.

Le motif stylistique exprime donc à la fois la rigueur systématique, par sa régularité et sa récurrence, et la richesse technoscientifique, par la multiplicité des approches; la multiplicité, en l'occurrence, est ici seulement exprimée par la triplification des positions dans la séquence et ses variantes, mais on sait que, dans la construction des sémiotiques-objets, quelles qu'elles soient, la triplification est l'expression rhétorique d'une multiplicité maîtrisée et d'un processus de diversification accompli.

Dès lors, que ce soit pour décrire une approche multi-échelle dans son principe ou pour traduire la complexité d'une approche multidimensionnelle dans sa mise en œuvre expérimentale, le même motif stylistique fait l'affaire, puisque, même si chaque type sémiotique n'est pas régulièrement affecté à une échelle d'observation, c'est le principe global des « multi-approches » (multi-échelles, multi-techniques, multi-analyses, multi-perspectives) qui est ainsi exprimé par le motif ternaire. Et c'est pourquoi la même séquence est utilisée au début pour exprimer la distinction entre les trois échelles, et ensuite pour exprimer la succession des procédures d'analyse et de caractérisation.

On a donc affaire, en somme, non pas à l'affectation symbolique de tel ou tel type visuel à tel ou tel objet de connaissance, mais à une véritable *proposition semi-symbolique et connotative*, où c'est le *motif triple* dans son ensemble, c'est-à-dire plus précisément la relation de triplification¹⁵ qu'il contient, qui est l'expression des « multi-approches », caractéristiques de la compétence technoscientifique de l'opérateur de recherche.

NOTES

1. Article étudié: « Comportement thermomécanique des composites texturés en environnements extrêmes », S. Barré, D. Rochais, C. Tallard, M. Jurion, J.-M. Goyénèche, dans le dossier « Matériaux microstructurés », paru dans *Chocs*, CEA, n° 34, septembre 2007, p. 72-83. Des démarches ont été entreprises auprès de la revue afin d'obtenir l'autorisation de reproduire les différentes figures de l'article (sous réserve de l'approbation des ayants droit).
2. En toute rigueur, 160K s^{-1} (entretien avec Jean-Paul Deville, physicien et directeur de recherche au CNRS).
3. Un carbone « non graphitable » est un carbone dur, qui, à haute température, n'adopte pas la structure atomique en « plans hexagonaux » du graphite.
4. Cette dernière affirmation, concernant l'échelle nanométrique, ne fait pas ici l'objet d'une démonstration, mais a déjà été évoquée dans l'article, où l'on explique le passage de l'élasticité à la plasticité par les propriétés d'arrangement des atomes de carbone. Cette homologation montre bien que la question de l'analogie des modèles de comportement entre échelles d'observation est au cœur de l'orientation argumentative de l'article. Il est d'autant plus significatif de constater que cette homologation est principalement portée par la présentation visuelle des résultats.
5. Un parcours argumentatif rassemble l'ensemble des arguments soumis à une même orientation argumentative, et donc visant la démonstration d'un même macro-énoncé.
6. On note en outre que les micrographies MEB, tout comme les courbes d'extraction, indiquent *dans l'image* même des valeurs millimétriques (niveau macroscopique) tout en se référant *dans le texte* à des entités définies au niveau mésométrique (les torons). On observe également que, dans la présentation des exemples d'analyse microscopique (*dans le texte*), la caractérisation d'un fil de carbone (p. 81) se fait à des dimensions de centaines de microns (*dans l'image*), c'est-à-dire à l'échelle mésoscopique.
7. Un « plan » de carbone est un agencement, sur un seul plan, de motifs composés par les atomes de carbone. La structure des motifs, leur agencement dans le plan et leur disposition d'un plan à un autre, est au cœur de la classification des structures carbonées. Cette notion relève évidemment du niveau microscopique (pour les plans proprement dit) et nanométrique (pour les motifs structuraux qui composent les précédents).
8. De fait, cette image pourrait ne pas être produite à partir d'un MEB, puisque le MEB produit en principe de pseudo-effets 3D, avec ombrage et texture (Jean-Paul Deville, communication personnelle).
9. μm = symbole de l'unité de longueur valant un millionième de mètre.
10. Notamment la nature du support, les types de formants visuels et plastiques admis, les types de figures qu'ils constituent en s'assemblant, ainsi que les règles qui président à ces assemblages, ou encore les règles

de combinaison et de disposition des figures sur le support, etc. On peut ainsi distinguer des modes d'expression en 1D, en 2D, ou en 3D; en aplat ou en modelé; graphique ou photographique; en tracé ou en plages colorées, etc.

11. La couleur est en effet fréquemment associée, en raison des codes culturels accumulés par les traditions picturales, à des contenus « dynamiques » qui peuvent renvoyer à des substances diverses: le mouvement (les couleurs « avancent » ou « reculent »), la chaleur (les couleurs sont « chaudes » ou « froides »), ou l'activité (les couleurs « bougent » ou « stagnent »).

12. Rappelons que le rapport entre *expression* et *contenu* est un rapport d'*isomorphie* et d'*allotopie*, alors que le rapport entre *manifestation* et *immanence* est un rapport d'*hétéromorphie* et d'*isotopie* (Hjelmslev, 1973). Le rapport de manifestation suppose donc qu'on reconnaisse une « identité de propos » sous une différence de forme, alors que le rapport d'expression suppose qu'on reconnaisse une « identité de forme » sous une différence de propos. Les formes géométriques et les flèches et traits qui les relient disent visuellement autre chose que les parties d'un appareillage technique: c'est un rapport d'*expression*; mais elles disent la même chose que l'organisation conceptuelle qui associe ces dernières entre elles: c'est un rapport de *manifestation*. On peut manifester le concept organisateur à différents niveaux d'abstraction ou de figurativité; le schéma manifeste un niveau de figurativité moyenne (car il reste générique).

13. « Accessible à l'intuition » ne signifie ici rien d'autre que « manifesté de manière sensible ». L'organisation narrative profonde peut recevoir plusieurs types d'expression, mais une seule, la courbe, a une capacité de manifestation sensible, alors même qu'elle ne peut pas être considérée comme une expression de la transformation narrative, mais seulement du profil d'évolution.

14. On ne peut pas savoir ici quel est le statut de cette courbe « analysée en tracé logarithmique », qui pourrait être aussi bien obtenue à partir de paramètres ajustables, ou à partir d'une loi exprimée par une équation (entretien avec Jean-Paul Deville).

15. Dans tout parcours narratif, par exemple, et du moins dans la culture occidentale, la *triplication* est un motif rythmique qui exprime systématiquement l'accomplissement et la plénitude d'un processus.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FONTANILLE, J. [2007]: « Les systèmes d'imagerie scientifique. Questions sémiotiques », *Association italienne de sémiotique*. En ligne: <http://www.ec-aiss.it/archivio/tipologico/autore.php> (document consulté le 22 septembre 2009 [fontanille_2_5_07.pdf]);
——— [2008]: « Le réalisme paradoxal de l'imagerie scientifique », *Prépublication* du Centre de Linguistique et Sémiotique de l'Université d'Urbino, Urbino.
HJELMSLEV, L. [1973]: *Prolégomènes à une théorie du langage*, Paris, Minuit.

HORS DOSSIER

CHASSÉS-CROISÉS À PROPOS DU FILM *DANCING*

(Patrick Mario Bernard, Xavier Brillat et Pierre Trividic - France, 2003)

MARIE-FRANÇOISE GRANGE

*Dancing*¹ croise deux registres *a priori* très distincts : d'une part, la représentation de l'homosexualité à l'écran ; d'autre part, l'autoportrait tel que le cinéma peut le mettre en scène à la suite de la peinture et des autres arts plastiques. Certes, *Dancing* n'est pas une exception en la matière, nombre de films, qu'ils soient expérimentaux (par exemple, *Ixe* de Lionel Soukaz – France, 1980), qu'ils appartiennent au cinéma documentaire (cas de *La pudeur ou l'impudeur* de Hervé Guibert – France, 1991) ou au cinéma fictionnel (comme le tout récent *J'ai tué ma mère* de Xavier Dolan – Canada, 2009), imbriquent à des degrés divers ces deux composantes. Tout film proposant l'autoreprésentation de son réalisateur, par ailleurs homosexuel, mêle directement ou indirectement ces deux problématiques dont l'une, l'homosexualité, relève de la représentation des identités sexuelles et l'autre, l'autoportrait, d'une question d'esthétique du cinéma. Ce qui caractérise *Dancing* est donc non pas cette imbrication homosexualité/autoportrait, mais la manière dont sont questionnées et remises en cause, à travers ces deux registres, les catégories : catégories de genres constitutives de l'identité individuelle, catégories de genres cinématographiques dans lesquelles s'élaborent des types filmiques. C'est à travers un ballet étrange interprété par des personnages, pris dans des effets de ressemblance plus ou moins décalés, que *Dancing* ébranle les frontières et interroge les limites à partir desquelles se structurent les comportements et les habitudes de penser. Dans l'intrigue, la figure du double, les effets de miroir et autres variations déplacent les identités et ouvrent sur des possibles multiples faisant cohabiter différents personnages parfois surprenants, comme celui de l'Idiot « dégenré ». Quant au film lui-même, glissant d'autoreprésentations en autoportraits sans véritablement les

affirmer en tant que tels, il est une sorte d'objet non identifiable qui bouscule les consignes de lecture et perturbe les repères.

Personnages et autoreprésentation

Dancing est un film narratif représentatif qui se construit autour d'une intrigue avec personnages. Bien qu'un de ses principaux personnages soit plasticien, ce film n'est pas un film d'artiste voué à une recherche plastique audiovisuelle, telles les œuvres cinématographiques de Soukaz, dont *Ixe* mentionné plus haut. Avec *Dancing*, nous avons bel et bien affaire à un film de type fictionnel, qui fut, d'ailleurs, lors de sa sortie en salle en France, distribué par un grand circuit (UGC).

Les deux protagonistes du film forment un couple : ils vivent ensemble, en Bretagne, au bord de la mer. L'un, Patrick, est scénariste, l'autre, René, est plasticien. Le premier participe à des interviews, il est amené à se déplacer à plusieurs reprises (Copenhague, Paris). Le second prépare une exposition, reste le plus souvent à la maison ou à proximité (il se promène sur la plage, fait les courses), passe du temps dans son atelier et communique, par le biais du réseau Internet, avec son galeriste. Les deux hommes (René et Patrick) partagent le quotidien, ont une relation harmonieuse, sans conflits ni éclats : ce sont deux homosexuels qui vivent sans problème particulier et sans détour leur sexualité, et dont l'orientation ne semble l'objet d'aucune difficulté. Ils sont, séparément et ensemble, socialement intégrés au point de ne pas soulever la question de leur intégration : cette question n'est jamais effleurée et encore moins posée. Leur homosexualité est une évidence qui n'est plus à interroger, elle est là comme pratique sexuelle, comme mode de vie, comme manière de penser et d'être dans le monde. Le propos diégétique

n'est donc pas organisé autour d'une revendication militante, comme peut l'être notamment celui du film *Harvey Milk* de Gus Van Sant (États-Unis, 2009).

Premier intérêt de *Dancing* : deux homosexuels vivent harmonieusement leur orientation ; ouverts sur le monde, ils évoluent dans un milieu, il est vrai, protégé, dans lequel ils se sentent plutôt bien. Second intérêt du film : deux des trois réalisateurs de *Dancing* (Pierre Trividic et Patrick Mario Bernard) interprètent les deux rôles principaux. Si l'on ne peut parler à ce stade d'autoportrait², peut-être peut-on déjà, dans un premier temps, remarquer l'autoreprésentation³ de deux des réalisateurs, apparaissant dans leur propre film.

Ce dispositif de mise en scène, centré sur une double autoreprésentation (ce qui est très rare), tend largement vers l'autofiction⁴, au journal filmé, au portrait de couple, le tout doublé d'une sorte d'autoportrait(s)... à deux.

J'ai tendance à penser que ce film ne ressemble à rien, au sens positif de l'expression bien sûr. Il ne ressemble à rien et son intérêt réside justement dans cette non-ressemblance qui le fait sortir des sentiers battus⁵.

Le fait que les personnages soient homosexuels ne peut être tenu pour raison de ce caractère atypique du film. Être homosexuel, d'une part, n'a rien d'exceptionnel, d'autre part, cela ne confère pas un passeport pour voyager sur les terres de l'originalité. En revanche, la liberté autant que l'assurance de ton tiennent peut-être à la capacité d'accepter et d'exploiter la notion même de différence qui, par définition, place toujours à côté et, de fait, déplace les points de vue⁶.

Début du film et contrat de lecture

Le genre cinématographique auquel appartient *Dancing* est relativement indéterminable, notamment son début. Si, en général, les premiers plans de films installent le spectateur face à une ambiance, un genre cinématographique, une atmosphère, et posent d'emblée les enjeux⁷ qui seront exploités dans le reste du film, *Dancing* joue son entrée en matière tout autrement.

Le début de *Dancing* est très ambigu : plusieurs gros plans morcellent un paysage (herbes, eau), un corps (une main, un crâne chauve, un pied). Le montage n'élabore pas d'unité globale à partir de ces morceaux successifs. Les angles de prises de vues rendent difficiles les points de repère et les ancrages spatiaux et narratifs : où sommes-nous ? Quel(s) personnage(s) ? Quel type d'action ? Il faudra, par exemple, attendre la septième minute du film pour que nous soit montré le visage d'un des personnages (René), alors que c'est essentiellement lui que la

caméra a suivi jusque-là. Il sera très difficile de saisir ce que les personnages font. C'est seulement, là aussi, au bout de plusieurs minutes que le spectateur commencera à comprendre l'organisation des plans entre eux et déchiffrera par bribes le comportement de René, à l'extérieur, et de Patrick, à l'intérieur ou au seuil de la maison⁸. Le premier se promène sur la plage, joue avec un ourson en plâtre, le trempe dans l'eau, prend des photos, reste allongé dans l'herbe ; le second guette l'arrivée de quelqu'un. Tout cela met du temps à devenir explicite, l'ensemble est éclaté, le montage n'embraye pas directement sur une action, pas plus qu'il n'installe entre lui et son spectateur un contrat de lecture défini et précis.

Ainsi, certains plans pourraient apparenter *Dancing* à un film policier : le corps de René, allongé et découpé par les cadres successifs, semble inanimé, en attente d'être découvert par on ne sait quel passant ; d'autres plans pourraient inscrire le film dans une démarche de type expérimental – les cadrages exposent leur focale et l'usage qui est fait du gros plan vise plus à cerner une distance qu'une réalité – ; d'autres encore décomposent un monde, par vues juxtaposées les unes à la suite des autres, dans une perspective descriptive sans cohérence narrative établie.

Le début du film est hybride : il ne choisit pas et s'autorise à circuler d'un plan à l'autre sans lien évident, à prendre son temps. Il amène son spectateur à lâcher prise, à accepter la balade au cœur d'un monde non encore organisé où tout et rien peuvent devenir possibles. Il faudra attendre pour que le propos s'affirme dans une direction donnée, mais toujours l'étrangeté guettera au détour de tel ou tel plan, laissant présager l'on ne sait trop quoi, laissant donc le spectateur s'appropriier et gérer comme bon lui semble ces effets de surprise, la plupart du temps sans réponse ni explication.

Puis l'intrigue se déplace et s'installe. Le film nous propose de suivre le quotidien d'un plasticien, entre ses hésitations, ses angoisses et ses certitudes, le tout ponctué par le journal filmé qu'il tient sur Internet, en images, et qu'il adresse à son galeriste.

De l'autoreprésentation à l'autoportrait

Si nous recoupons ce *work in progress* de René, personnage du film, avec l'autoreprésentation d'un des réalisateurs (Patrick Mario Bernard, interprète de René), les effets d'échanges brouillent de nouveau le propos et relancent l'incertitude toujours aux aguets.

On le sait, Patrick Mario Bernard est plasticien, réalisateur de film et travaille avec son compagnon dans la vie, Pierre Trividic

qui, lui, interprète Patrick dans le film, le compagnon de René. Ce savoir-là ne nous est pas communiqué directement par le film lui-même, mais la situation rejoint ici celle de tout autoportrait lorsque celui-ci ne porte pas un titre suffisamment explicite comme *autoportrait*⁹. En revanche, l'autoreprésentation des réalisateurs est affirmée par le générique de fin. L'autoreprésentation n'est pas équivalente à l'autoportrait¹⁰, en tout cas au cinéma, mais l'autoreprésentation peut servir d'assise à l'autoportrait. Quant au savoir sur les liens entre personnages et personnes, bien qu'extrafilmiq, il fonctionne, en mineur ou en majeur, selon les spectateurs. En résumé, le personnage de René est de l'ordre de la fiction. Son interprétation par un des réalisateurs (Patrick Mario Bernard), par le biais donc d'une autoreprésentation, injecte dans la fiction une part de documentaire, elle tisse certains échos entre le personnage et la personne ouvrant à la confusion entre les niveaux narratifs. Les ressemblances plus ou moins serrées, plus ou moins lâches, entre vie du personnage et vie du réalisateur infléchissent le discours filmique vers le portrait d'un artiste par lui-même. L'autoreprésentation fait glisser le film de pure fiction à la possibilité de l'autoportrait.

Le portrait de René devient de manière sous-jacente celui de Patrick Mario Bernard; dès lors, celui de Patrick devient celui de Pierre Trividic; et le portrait du couple filmique, René et Patrick, devient celui du couple des réalisateurs.

En effet, les deux réalisateurs nous racontent quelque chose de leur vie commune, quelques-unes de leurs manières de voir le monde, de l'appréhender; ils se font les porte-parole directs (en s'autoreprésentant) de leur façon d'être et d'entendre, de voir et de vivre. Ils se transposent en René et Patrick pour mieux (ou moins? ou plus?) parler des images qui peuplent leurs univers de réalisateurs, de créateurs, d'artistes. Nous passons alors de l'autoreprésentation à l'autoportrait, et cela en glissant à travers une dimension autofictionnelle¹¹. Restent les écarts entre une réalité, celle des réalisateurs, transposée dans un monde filmique, et un monde filmique, celui des personnages porteurs, à travers des résonances plus ou moins troublantes, d'une vérité documentaire.

Sous couvert de leur clone respectif, le couple dans la vie et dans le film, ou l'un des deux, s'autorisent quelques digressions dans lesquelles s'échangent non seulement des impressions, mais encore des mondes. Or, ces mondes se constituent comme parallèles. Y cohabitent plusieurs semblables, plusieurs vérités, plusieurs possibles. Ces mondes, en se croisant – car même les parallèles dans cet univers à géométrie variable peuvent se rencontrer¹² –, sont les seuls à même de dire quelque chose

de la vérité: ni toute une, ni toute autre, mais une car autre, c'est-à-dire toujours différente.

N'est-ce pas le propre de l'autoportrait que de naviguer entre savoirs et ignorances, reflets et certitudes, même et autre? N'est-ce pas là que s'effleurent les images, se déplacent les regards? N'est-ce pas là que l'on se confronte à la fuite inéluctable du signifiant? Lorsque l'autoportrait est double et que tendent à se confondre les personnages, le mouvement s'amplifie et l'ensemble perd d'autant plus ses marques.

Des effets de miroir s'établissent entre les deux protagonistes unis par une vie commune et par des liens non seulement affectifs et sexuels, mais également morphologiques. Patrick et René se ressembleraient presque: les deux se portent bien et, comme pour beaucoup de couples, on les confond au téléphone. De plus, quand ils endossent leurs combinaisons de plongée pour aller nager, la caméra les tient sous un angle éloigné, de dos, et veille à ne plus permettre de les distinguer: deux silhouettes semblables partagent leur bain de mer. Le film joue de cette ressemblance. Que les deux hommes soient de type « nounours » souligne d'autant l'effet en question¹³.

Mais, qu'on ne s'y trompe pas, le problème n'est pas de portraiturer le couple selon les similitudes des deux partenaires. Il s'agit bien plutôt d'amorcer, par le phénomène de la ressemblance entre les deux hommes, les glissements de double à double. Il s'agit d'amorcer ou de reprendre la démultiplication qui s'empare de René lorsqu'il rencontre le personnage de l'Idiot et fait l'expérience de sa propre métamorphose en devenant lui-même l'Idiot.

L'Idiot

Qu'est-ce que ce personnage? L'Idiot arrive brusquement par la trappe de l'atelier qui communique avec les caves de la maison. Il est une figure burlesque ayant gardé non pas le tragique du burlesque, mais sa faculté à porter l'absurde jusqu'au comique.

L'Idiot, à proprement parler, surgit dans la vie de René comme un diable sortant de sa boîte. Il prend la tenue des Bernard Brothers, couple de comiques du music-hall anglo-saxon des années 1940. Le Bernard porte sur un corps nu une robe à bretelles, froncée à la taille qui lui arrive aux genoux, il arbore un superbe nœud qui lui encadre la tête. Sa position favorite est d'être accroupi. Il ramasse au sol des miettes ou des cailloux imaginaires, un à un. Lorsqu'il se redresse, il a tendance à effectuer de façon récurrente, et donc insistante, le même geste de la main: l'index et le pouce se touchent à plusieurs reprises.

Le Bernard grimace, ne parle pas, il prononcera dans le film une seule phrase par la voix dédoublée de René. Le Bernard, si l'on en croit son modèle d'origine (les Bernard Brothers), est de sexe masculin et de genre féminin.

Que le Bernard du film apparaisse sous les traits de René, homme solide avec un certain embonpoint, grand, chauve, avec des bacchantes à la gauloise, renforce la drôlerie de la créature. Le comique ne provient pas du transformisme du personnage: un homme habillé en femme comme c'est le cas, par exemple, pour les deux personnages principaux de *Certains l'aiment chaud* de Billy Wilder (États-Unis, 1959). Le nouveau Bernard ne fonctionne pas à ce niveau-là¹⁴. Son comique vient de l'hybridité de la créature, revendiquée en tant que telle car surexploitée, et non de la mise en scène de la dualité du masculin et du féminin portée par l'image classique du travesti au cinéma (Michaud, 2000: 86). C'est d'ailleurs en cela que le burlesque, qui est exploité par la répétition systématisée, le travestissement du corps, l'absurdité des situations, dérape. Avec le Bernard réinterprété, le comique devient beaucoup plus décapant et ravageur, car dénonciateur de valeurs sous-jacentes insidieusement à l'œuvre dans l'ordre social des identités. En cela, le Bernard amuse et dérange.

Le nouveau Bernard mélange et donc bouscule allègrement les catégories, pas seulement de genres, en les faisant cohabiter: il est vrai qu'il porte la moustache (signe de genre masculin), la robe (signe de genre féminin), mais encore se risque-t-il à faire cohabiter l'adulte de sexe mâle (la moustache), l'enfant (le jeu répétitif, la position accroupie), la petite fille (la robe avec bretelles et le nœud dans les cheveux), l'artiste autoreprésenté en créature déjantée, la proposition plastique (le Bernard est un portrait, voire un autoportrait – de René/de Patrick Mario Bernard –, et s'expose au regard de l'ami et du galeriste avant qu'il ne devienne objet d'art de galerie ou de film). Il est aussi l'incarnation de l'Idiot dont la fonction n'est que d'être là, dans le présent de sa présence. Le Bernard, comme l'Idiot, est singulier, coupé du langage, il est seulement là. Il fait écran, il est incompréhensible car il se tient à une distance différente de celle de tout un chacun avec le réel. L'Idiot (voir Rosset, 1977) est étranger au monde, il est ailleurs. Il est déplacé et pose problème.

L'Idiot en Bernard ose franchement l'hybridité, sans complexe et sans détour. Il devient l'Idiot par excellence, hors classification¹⁵, « le particulier », hors concept, hors catégorie et hors genre. Si l'Idiot est l'une des formes du Bernard, le Bernard, quant à lui, vaut comme paradigme de l'Idiot.

Ainsi, le Bernard propose une nouvelle race d'Idiot et en compose une nouvelle figure. Il n'est pas seulement celui qui est singulier, à part¹⁶, il n'est pas seulement, non plus, celui qui n'est pas doté de langage, qui ne comprend rien étant situé en dehors de tout processus de communication, celui dont l'attitude est étrange, jamais connue par avance, mais plus encore, il est ici « dégenré »¹⁷. En cela, il prend de la distance par rapport à la plupart des personnages d'idiots. Car le Bernard explore l'ailleurs, le redéfinit. Par une accumulation d'emblèmes qui le pose en désignateur de catégories, le Bernard ne s'apparente qu'en partie à ces catégories, autant dire qu'il ne s'y apparente plus du tout. En effet, la catégorie ne fonctionne que sur une valeur oppositionnelle, ainsi le masculin n'est pas du féminin, et la suppression de la notion même d'opposition ouvre des champs aux multiples attraits, atours (voir la parure du Bernard), aux identités multiples et autres manipulations. Venu d'ailleurs, d'un autre monde, dans lequel les règles peuvent être plus facilement repensées, ou du moins désignées, le Bernard déplace l'Idiot car il réinvente les territoires de l'ailleurs. Désormais, le Bernard nouveau reprend le flambeau de la quête autoportraitique.

Si le corps est une réalité bien présente dans le film (voir les scènes relatives aux rapports sexuels entre les deux hommes, la préparation du corps avant la relation sexuelle), l'Idiot, quant à lui, soulève la question de l'identité dans laquelle prend place celle du genre. Par le Bernard, par cette drôle de créature, l'autoportrait se saisit de l'identité et l'inscrit aux confins du réel, dans l'« ici » et « maintenant ». L'autoportrait en l'Idiot/l'Idiot comme autoportrait¹⁸ « ne trouvera [...] rien d'autre que ce qu'[il] y cherchait réellement: c'est-à-dire, précisément, rien » (Rosset, 1977: 153)¹⁹. En ce sens, l'autoportrait, au travers de ce nouvel l'Idiot, porte la quête identitaire aux limites de sa signifiante, aux limites de ses possibilités, et trouve là un territoire ouvert sur l'étranger. L'autoportrait révèle alors ses propres impossibilités: il est ce rien du réel ici et maintenant. Comme tout image, il ne peut que rater son but.

Dancing se déplace de double en double, de portrait en autoportrait, d'autoportrait en autofiction. Il fait voler les frontières, bouscule les limites: René (personnage)/Patrick Mario (réalisateur) est un Bernard. Il leur arrive à tous deux (tous trois?) de partager le même repas à la même table, de prendre place dans le même espace, face à face, dans l'atelier, et de se regarder. Lorsque le Bernard articule la seule phrase qu'il prononce, il le fait par la voix dédoublée de René/Patrick Mario et lorsque René/ Patrick Mario s'adresse à son Bernard, il l'interpelle avec

une voix travaillée en écho, résonante. La recherche de l'identité par le biais du portrait de l'autre ou de l'autoportrait (ce qui reviendrait au même) dérive vers un double greffé sur l'unité ainsi déconstruite, un double qui ne remplace pas, mais qui cohabite, en supplément, pour reprendre une terminologie derridienne. Le Bernard est la dernière proposition plastique de René. Entre ours de différentes tailles, autres images de lui-même, cette chose hors concept, hors catégorie, hors genre, hors tout servira à son tour de portrait/autoportrait, elle ne mettra pas un terme à la recherche de la bonne image, mais inscrira l'impossible lieu de cette image « toute ».

Le portrait de l'artiste en Bernard devient la métaphore de l'impossible autoportrait identitaire lorsque celui-ci se veut être pensé à partir de critères exclusifs. Il est déconstruction de cette pensée de l'identité. À ce titre, il devient l'autoportrait par excellence, c'est-à-dire la signifiante et l'insignifiante conjuguées de l'image de soi, le tout et le rien de cette image, le sujet/objet insaisissable; il est la perte de soi par soi, sans limites et sans fin, il est ce « rien » du réel dont nous entretient Clément Rosset.

Conclusion

Le Bernard communique sa force disruptive, son énergie venue de contrées étrangères, il laisse sur son passage un goût que seuls certains sont à même de connaître ou de reconnaître. Le galeriste de René, invité des deux protagonistes, passera une nuit bien étrange: de la cave, deux, trois, cinq, sept, dix galeristes, tous semblables, sortiront les uns après les autres. Ils investiront l'atelier de René et accompliront, en combinaisons de plongée, diverses galipettes, et autres figures tout aussi surprenantes, sous les yeux ébahis de leur référent, le supposé vrai galeriste.

Le Bernard est une figure explosive au sens propre comme au sens figuré. Sa dimension *farcesque*, fantastique, non normée, déstabilise les repères. Venu d'ailleurs, insaisissable, il produit des figures, des semblants, des identités pensées sous la coupe du multiple. Il détruit les catégories, car il se moque des logiques oppositionnelles. Le Bernard produit un sujet plus qu'il ne le transcrit. C'est en cela qu'il est performance autoportraitique.

NOTES

1. Film français de Patrick Mario Bernard, Xavier Brillat et Pierre Trividic (35 mm, 1 h 33, 2003).

2. L'autoportrait est un portrait de soi par soi.

3. J'entends par le terme d'autoreprésentation la mise en scène par le réalisateur de son propre corps à l'intérieur de son film. Qu'il joue son propre rôle ou qu'il en interprète un autre n'est pas définitoire de l'autoreprésentation.

4. Serge Doubrovsky définit ainsi le terme d'autofiction en littérature: « L'autofiction, c'est la fiction que j'ai décidée, en tant qu'écrivain, de me donner de moi-même et par moi-même, en y incorporant, au sens plein du terme, l'expérience de l'analyse non point seulement dans la thématique mais dans la production du texte » (1988: 77). La question de l'autofiction est d'autant plus pertinente que le film se présente comme un film de fiction.

5. J. Y. Joughannais (2003) voit, dans ce film, un film idiot. Il le distingue du film de Lars Von Trier, *Les Idiots* (Danemark, 1998), film sur l'idiotie, alors que *Dancing* pousse les choses plus loin en proposant un film lui-même idiot.

6. Point de vue est utilisé ici au sens de lieu à partir duquel on regarde.

7. « [...] les premiers plans d'un film revêtent une importance toute particulière: opérant la transition entre notre monde (l'espace de la salle de projection) et le monde du film (la diégèse), ils ont pour fonction de donner au spectateur les consignes de lecture qui lui permettront d'adopter un mode de production de sens et d'affects adapté » (Odin, 2000: 76).

8. La musique du film joue un rôle essentiel dans cette étrangeté du film. Plutôt intrigante, elle renforce l'indécision quant au genre filmique, le tirant vers une tonalité suspensive, car trop fortement pesante sur des images qui sont, la plupart du temps, plus légères. Cette musique, souvent en décalage avec les images, ne renforce pas une catégorie précise de genre cinématographique. En ce sens, elle prend une part active dans la déconstruction du genre filmique.

9. *Autoportrait* en titre de tableau instaure un contrat de lecture: la personne représentée sur la toile est censée avoir les traits de l'artiste. Au cinéma, il en est de même. De plus, l'autoportrait reprend le contrat de lecture de l'autobiographie (Grange, 2008: 63), tel que P. Lejeune (1975) l'a décrit à propos de la littérature, par laquelle l'auteur, le narrateur et le personnage sont une même et unique personne.

10. Si l'autoportrait est un portrait de soi par soi, l'autoreprésentation ne fait pas nécessairement portrait. L'autoportrait ouvre sur la question du Sujet; l'autoreprésentation, quant à elle, ouvre sur la question de la représentation du corps de l'artiste au sein de son œuvre. Voir, sur cette distinction, M.-F. Grange (2008: 61-65).

11. Le film ne se situe pas dans une problématique documentaire, si ce n'est par le simple fait que les personnages ne portent pas les mêmes noms que les réalisateurs. Aussi, ces derniers n'interprètent pas directement leur propre rôle, mais tiennent un rôle autre que le leur. L'autoreprésentation (mise en scène du corps des réalisateurs), aux échos d'autoportrait (construction d'un portrait de soi par soi), passe donc par le biais de l'autofiction (construction d'une fiction pour élaborer une vérité sur soi). À chaque niveau – autoreprésentation/autoportrait/autofiction – correspond un type de contrat de lecture.

12. C'est en substance ce que le scientifique danois explique aux deux personnages dans le film.

13. Les effets de miroir entre personnages ont pu être exploités, notamment dans le passé, par des films comme *Persona* de Ingmar Bergman (Suède, 1966): la relation ambiguë entre Alma (l'infirmière) et Elisabeth

(l'actrice) s'élabore sur ces effets qui mènent au trouble et à la confusion des personnalités entre les deux femmes. Dans *Dancing*, la question du double et de la ressemblance ne cherche pas à construire une quelconque ambiguïté ou déstabilisation psychologiques entre les protagonistes. Il s'agit ici de jouer, au sens ludique du terme, sur des visibilitées qui se renvoient la balle, cela dans un très grand respect et une très grande complicité.

14. Si les personnages de Billy Wilder sont bien des créatures de sexe masculin prenant, tant bien que mal, afin de se cacher, les atours du genre féminin, ils ne revendiquent pas le genre féminin comme élément de leur propre identité. Mais leur travestissement leur fait porter « ensemble le spectacle de la féminité et celui de la virilité *contrariée* » (c'est moi qui souligne), comme le remarque P.-A. Michaud (2000 : 86) à propos du travesti au cinéma. En revanche, le Bernard, interprété par René, est de sexe masculin et revendique les genres masculin et féminin. Si les personnages de Billy Wilder miment de manière caricaturale la féminité (et en retour la masculinité), le Bernard, quant à lui, dénonce la caricature des constructions de genre et ne fonctionne pas sur une opposition « genrée ».

15. Valérie Deshoulières, dans *Métamorphoses de l'idiote* (2005), note la difficulté des nosographies du XIX^e pour classer l'idiote.

16. Premier sens du terme idiot (du grec *idios*) : « simple, particulier ». C'est avec le terme latin, *idiotes*, que l'idiote prend une valeur négative. *L'idiotes* est l'inculte, sans instruction. De ces deux étymologies découlent les deux sens du terme idiot : simple, particulier et faible d'esprit. La plupart du temps, l'idiote est défini négativement, il est celui qui est privé d'intelligence, incapable de former des concepts (Deshoulières, 2005 : 17-18).

17. « Dégenré », c'est-à-dire déstabilisant la catégorie du genre, conçu comme catégorie donnée, unitaire et oppositionnelle. Le Bernard interprète la catégorie du genre et lui restitue sa valeur performative. Judith Butler (2005) insiste tout particulièrement sur le caractère performatif du genre. Or, le Bernard semble bien lui restituer cet enjeu performatif.

18. Il ne s'agit pas, bien évidemment, de penser l'idiote « dégenré » comme créature impossible, mais de penser l'image autoportraitique, quelle qu'elle soit, comme impossible. Or, sous la forme de l'Idiot, l'image autoportraitique devient l'étrangère par excellence, c'est-à-dire inaccessible comme entité, comme identité. L'autoportrait reprend alors place au cœur de sa propre performativité (Grange, 2008).

19. C'est ainsi que Clément Rosset termine son étude sur l'Idiot : « [...] ne cherchez pas le réel ailleurs qu'ici et maintenant, car il est ici et maintenant, seulement ici et maintenant. Mais, si l'on ne veut pas du réel, il est préférable, en effet, de regarder ailleurs : d'aller voir ce qui se passe sous le tapis, ou en Amérique du Sud, ou dans la mer des Caraïbes, n'importe où pourvu qu'on soit assuré de n'y jamais rien trouver. Car on n'y trouvera jamais rien d'autre que ce qu'on y cherchait réellement : c'est-à-dire, précisément, rien » (1977 : 152-153).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BUTLER, J. [2005] : *Trouble dans le genre*, Paris, La Découverte.
- CAMPAN, V. et C. RANNOUX (dir.) [2005] : *La Licorne : le journal aux frontières de l'art*, Rennes, Presses universitaires de Rennes.
- DERRIDA, J. [1990] : *Mémoires d'aveugles : l'autoportrait et autres ruines*, Paris, Réunion des musées nationaux.
- DESHOULIÈRES, V. [2005] : *Métamorphoses de l'idiote*, Paris, Klincksieck.
- DOUBROVSKY, S. [1988] : « Autobiographie/Vérité/Psychanalyse », *Autobiographiques : de Corneille à Sartre*, Paris, PUF, 61-79.
- GRANGE, M.-F. [2008] : *L'Autoportrait en cinéma*, Rennes, Presses universitaires de Rennes.
- JOUHANNAIS, J.-Y. [2003] : *L'Idiotie : art, vie, politique-méthode*, Paris, Éd. Beaux-arts magazine-livres.
- LEJEUNE, P. [1975] : *Le Pacte autobiographique*, Paris, Seuil.
- MICHAUD, P. A. [2000] : « "Passage de l'octroi" sur le travesti au cinéma », *La Différence des sexes est-elle visible ? Les hommes et les femmes au cinéma*, Paris, Cinémathèque française.
- MOINE, R. [2002] : *Les Genres cinématographiques*, Paris, Nathan.
- NANCY, J. L. [2000] : *Le Regard du portrait*, Paris, Galilée.
- Parachute [2002] : « Autofictions », n° 105, Montréal, Parachute (revue d'art contemporain).
- ODIN, R. [1977] : « L'entrée du spectateur dans la fiction », dans J. Aumont et J. L. Leutrat (dir.), *Théorie du film*, Paris, Éd. Albatros, 198-213 ; ——— [2000] : *De la fiction*, Bruxelles, De Boeck Université.
- ROSSET, C. [1977] : *Le Réel : Traité de l'idiote*, Paris, Minuit.

REGARDS CROISÉS SUR LES IMAGES SCIENTIFIQUES

Analyse des images scientifiques par le concept d'observation.**Vincent Israël-Jost – page 9**

Une partie importante des images scientifiques sont produites dans le but d'*observer* des entités ou des phénomènes, c'est-à-dire d'obtenir à leur sujet une connaissance sûre, acquise par des moyens aussi directs que possible. Ce rôle des images et des instruments qui les produisent a été évalué par les philosophes, en particulier depuis le début des années 1980, pour tenter de comprendre si l'emploi du terme « observer » est justifié dans le cas où une chaîne complexe d'instrumentation est mise en place pour produire des images. Dans ce cas, en effet, on peut craindre une contamination des images à la fois par des artefacts, en cas de défaut du dispositif expérimental, et par les théories sur lesquelles repose ce même dispositif. Sans se prononcer sur la validité des instruments pour l'observation dans le présent travail, nous décrivons en quoi les analyses philosophiques relatives à cette question sont insuffisantes pour rendre compte de l'utilisation réelle qui est faite des images par les scientifiques. Nous tirons deux éléments importants de cette analyse : d'une part, la nécessité de considérer une image à la lumière d'un contexte scientifique spécifique qui donne l'objectif de la démarche expérimentale et précise ce que l'on tente d'observer et, d'autre part, le fait que des phénomènes de la plus grande variété peuvent être représentés sur une image. Ce deuxième aspect s'oppose à l'idée très généralement partagée par les philosophes que seules les propriétés spatiales des entités pourraient être explorées par l'image. Pour importants que soient ces aspects de forme, d'échelle et de localisation, il faut les compléter d'abord par la possibilité d'explorer des propriétés physiques détectables, telles que la luminosité, la radioactivité, etc., et ensuite, en introduisant la notion de *propriétés de haut niveau*, propres à chaque domaine des sciences. Nous ouvrons ainsi la question de savoir si l'on peut observer des phénomènes aussi divers que la perfusion cardiaque, la production d'énergie dans le noyau solaire, la région des émotions sur des images cérébrales de résonance magnétique fonctionnelle, etc.

Many of the scientific images are produced in order to *observe* entities or phenomena, that is, to obtain a reliable knowledge about them, acquired by the most direct means. This use of images – and of instruments that produce them – has been discussed by philosophers, especially since the early 1980s, in order to understand whether the term “observe” is appropriate when

a complex chain of instruments is put together to produce images. Indeed, in this case, images can be contaminated both by artifacts, when some part of the instrument does not work as expected, and by the theories that are used to explain the functioning of the imaging device. I do not bring a conclusion in this work regarding the validity of instruments for observation but I describe instead what makes the philosophical analyses on this question unsatisfactory to give an account of the actual use of images by scientists. Specifically, I make two points in the course of my analysis: first, that it is required to consider an image within a precise scientific context that gives the goal of the experimental setting and, second, that phenomena of the greatest diversity can be represented on an image. This second aspect contradicts the idea largely shared by philosophers, that only spatial properties of entities can be explored through images. Although I acknowledge the importance of such aspects as shape, scale and position, one must also consider other properties, starting with detectable physical properties such as luminosity, radioactivity etc. and pursuing with properties that are specific to the different scientific disciplines, that we call *high-level properties*. I thus open the question of whether or not we can observe such phenomena as cardiac perfusion, energy production in the solar core, the region of emotions in a cerebral MRI, etc.

L'apport d'une perspective génétique à l'analyse des images scientifiques.**Catherine Allamel-Raffin – page 19**

À partir d'études ethnographiques menées dans des laboratoires appartenant à deux disciplines des sciences de la nature, la physique des matériaux et la pharmacologie, Catherine Allamel-Raffin élabore une classification des images produites dans ces domaines de recherche en les envisageant sous l'angle de leur production, c'est-à-dire en adoptant une perspective génétique. Cette démarche conduit notamment au constat suivant : certaines images massivement présentes en pharmacologie (histogrammes), et peu présentes en physique des matériaux, soulèvent des problèmes sémiotiques particuliers qu'il est possible d'analyser à l'aide des travaux de E. Tufte. Le recours à une perspective génétique, dans un second temps, permet de relever les similitudes, mais également d'établir les distinctions qui s'imposent quant aux processus de réalisation de ces images : la présence potentielle d'artefacts, ceux-ci étant situés à des moments différents du cours de l'expérimentation, la non-existence d'une flexibilité interprétative dans le

cas des images produites en pharmacologie à l'opposé de ce que l'on rencontre en physique des matériaux, l'évolution du statut épistémique de certaines images au cours de la recherche grâce au recours, couronné de succès, à des stratégies expérimentales déterminées.

Catherine Allamel-Raffin proposes a classification of scientific images produced in two different fields of the natural sciences (pharmacology and surface sciences). This classification relies upon ethnographic studies. The point of view adopted here is a genetic one, in other words, these ethnographic studies especially focus on the processes which lead to the production of images in two different laboratories. In the first part of my contribution, I will show that certain types of images particularly well represented in pharmacology (but not in surface sciences) like histograms, generate some specific semiotic problems. These semiotic problems will be approached by referring to the E. Tufte's work. In the second part of my contribution, I will show that this genetic point of view leads us to underline the similarities but also the differences which take place all along the production's processes of the images: the possible existence of artifacts which are not situated, in the two laboratories, at the same levels of the experiment; the fact that there is no interpretative flexibility in pharmacology contrasting with the interpretative flexibility one can observe in surface sciences; the evolution of the epistemic status of some images based on the successful use of determined experimental strategies.

La stratification temporelle dans l'image scientifique.

Maria Giulia Dondero – page 33

Notre article développe une analyse des méthodes et stratégies de représentation visuelle de la stratification de couches temporelles dans deux disciplines qui visent la datation de phénomènes et d'objets : l'astrophysique et l'archéologie. Cette analyse vise à un inventaire des différents statuts des images mis en jeu par ces deux disciplines dans le but commun de représenter la stratification temporelle. Il s'agit en effet de montrer comment ce même objectif peut impliquer des techniques et des résultats iconographiques très différents dans les deux cas et de voir comment ces différentes solutions peuvent être comparables. Plus spécifiquement, l'analyse sémiotique porte sur la comparaison entre les images produites en astrophysique par l'analyse spectrale (du domaine radio au domaine gamma) et les images produites dans le domaine de l'archéologie, à savoir les images des stratifications des sols et des installations enfouies obtenues à travers des méthodes non invasives, telles la

prospection aérienne et les prospections géophysiques. On part de l'hypothèse que les méthodes de fabrication d'images de ces disciplines sont comparables parce que toutes deux relèvent de visualisations qui reconstruisent les données en laboratoire (imagerie), mais on étudie aussi les différents niveaux d'« allographisation » (Nelson Goodman) de ces données requis par les deux disciplines (très élevé dans le cas de l'astrophysique, moins élevé dans le cas de l'archéologie) en faisant l'hypothèse que ces niveaux d'allographisation sont liés et justifiés par des sous-objectifs concernant la représentation de la succession temporelle. En effet, les images en archéologie ont pour but de mettre en évidence les différentes couches temporelles du passé cachées à notre perception directe, tandis que les images en astrophysique visent à construire une mosaïque temporelle du passé, du présent et du futur des astres. La visée principale de l'analyse des corpus consiste enfin à comprendre comment les images incarnent les différents sous-objectifs des deux disciplines : compacter ce qui est diffusé dans l'univers dans un cas, exfolier ce qui est stratifié dans le sous-sol dans l'autre.

My article develops an analysis of methods and strategies of visual representation of temporal layers in two disciplines, which aim at the dating of phenomena and objects: astrophysics and archaeology. This analysis aims to establish an inventory of the different status of images brought into play by these two disciplines, in the common objective of representing temporal stratification. It involves showing how this same objective can involve very different techniques and iconographic results in the two cases, and to see how these different solutions can be comparable. More specifically, semiotic analysis is about the comparison between images produced in astrophysics by spectral analysis (from the domain of radio to the domain of gamma), and the images produced in the domain of archaeology, that is to say the images of soil stratifications and buried installations obtained by non-invasive methods such as aerial prospecting and geophysical prospecting. We begin with the hypothesis that the methods of image fabrication of these two disciplines are comparable, because both come from visualisations which reconstruct data in the laboratory (imaging), but the different levels of "allographing" (Nelson Goodman) of this data required by the two disciplines (very high in the case of astrophysics, less so in the case of archaeology), are studied by hypothesising that these levels of allographing are linked, and justified by sub-objectives concerning the representation of temporal succession: indeed, the images in archaeology aim to show the different temporal layers of the past that are hidden from our direct perception,

while the images in astrophysics aim to construct a temporal cartography of the past, present and future of stars. The principal aim of the analysis of corpora involves finally understanding how images are the incarnation of the different sub-objectives of the two disciplines: compacting what is in the universe in one case, exfoliating what is stratified underground in the other.

Les fonctions sémiotique et heuristique des symboles chimiques ou de l'icône au symbole et retour.

Francis Edeline – page 45

L'histoire des signes employés par les (al)chimistes révèle qu'il a surtout été fait appel à deux modes d'association d'un signifiant à son signifié : l'icône et la convention. Leur évolution peut se diviser en trois périodes : l'alchimie, la révolution berzélienne et la chimie contemporaine. Les alchimistes ont créé des signes graphiques basés sur des analogies symboliques (pour les substances chimiques, non représentables iconiquement à l'échelle macroscopique), ou sur un iconisme pur et simple (pour les appareils et les opérations). Ils n'ont toutefois jamais élaboré un système entièrement cohérent. Lavoisier et Berzelius ont tourné le dos à ce type de signes pour adopter des signes alphabétiques conventionnels. Cependant le développement moderne de la chimie a rendu nécessaire un retour à l'icône (représentation spatiale des molécules). Ceci a été obtenu en ajoutant au système de Berzelius des éléments graphiques en relation d'icône avec le modèle supputé des molécules (qui demeurent invisibles). Il en est résulté un système hybride tout à fait original et opérationnel.

The history of the signs used by (al)chemists reveals that two main modes were employed to associate a signifier to its signified: iconism and convention. Their evolution can be divided in three periods: alchemy, the berzelian revolution, and contemporary chemistry. The alchemists created graphic signs based on symbolic analogies (because chemical substances are impossible to represent iconically at the macroscopic level), or on a straightforward iconism (for equipment and operations). Nevertheless they never achieved a completely coherent system. Lavoisier and Berzelius rejected this type of signs, preferring the use of conventional alphabetic signs. However, the development of modern chemistry prompted a return to iconism, for the spatial representation of molecules. This was obtained by adding to the berzelian system graphic elements that were iconically related to the assumed model of the molecules (which remain invisible). The result was a highly original and operational hybrid system.

La photographie aérienne, l'échelle, le point de vue.**Anne Beyaert-Geslin – page 57**

L'article observe en quoi les notions de *point de vue* et d'*échelle* déterminent la signification de la photographie aérienne. Il montre comment un pays prend forme, sa *présence iconique* (la constitution d'une forme) s'alliant nécessairement à une *présence référentielle* (la localisation de cette forme sur terre).

The article considers how *point of view* and *scale* determine the signification of aerial photography. It shows how a country takes shape, its *iconic presence* (its shape) being necessarily connected to a *referential presence* (where this shape takes place on earth).

À quoi servent les schémas?**Tabularité et dynamisme linéaire.****Jean-Marie Klinkenberg – page 65**

Cet article s'interroge sur la source de l'efficacité des schémas dans les exposés scientifiques. Il part du constat que la plupart des schémas utilisés en science associent des données orientées linéairement et une représentation spatiale; cette conjonction du linéaire et du spatial peut être appelée « tabularité ». L'article démontre que la puissance explicative de ces schémas provient du fait qu'ils associent, dans une perception globale (voire immédiate) qu'il doit à sa tabularité, le général du paradigme avec la totalité des particuliers exprimée par sa structure syntagmatique.

This paper examines the origin of the effectiveness of diagrams in scientific presentations. It recognizes that most diagrams used in science combine linearly oriented data and spatial representation; this combination of linearity and spatiality can be called "tabularity". The paper demonstrates that the explanatory power of these diagrams lies in the fact that they combine, in a global (even immediate) perception which they owe to their tabularity, the generality of the paradigm with all individuals expressed by their syntagmatic structure.

L'image comme outil de la communication scientifique : diversité et spécificités.**Luc Desnoyers – page 81**

Dans leurs activités de communication, les scientifiques ont recours à un nombre important d'images d'une remarquable diversité. Leur étude est rendue difficile du fait, entre autres, de la confusion causée par la polysémie des dénominations, à laquelle on peut remédier en développant une véritable taxonomie, fondée sur les principes établis par Linné, qui se complète par

une nomenclature systématique. Cette opération permet de faire ressortir les affordances spécifiques de chaque catégorie d'images. L'utilisation de cette taxonomie dans l'étude de l'utilisation des types d'images, dans des genres d'articles scientifiques définis fonctionnellement, montre la spécificité effective de chaque type d'image.

In the course of their communication activities, scientists use an important number of greatly diversified visuals. Analysing these visuals is difficult partly due to the confusion caused by a considerable polysemy in denominations. This can be overcome by developing a truly Linnean taxonomy followed by a systematic nomenclature. This operation in turn allows one to specify the affordances of all categories of visuals. The use of this taxonomy, in a study of visuals offered in functionally defined genres of scientific articles, reveals the effective specificity of each type of visual.

L'imagerie composite dans la communication scientifique.**Martina Merz – page 93**

Cette étude porte sur les images dans la communication scientifique. Elle analyse, plus spécifiquement, le rôle des images microscopiques à l'échelle atomique dans les articles scientifiques avec, comme point de départ, le constat qu'une image n'apparaît que rarement seule – elle est souvent accompagnée d'autres représentations visuelles, le tout formant une composition de construction hétérogène et complexe : une figure composite. Il sera donc question de l'interaction entre les éléments (visuels) d'une telle figure composite et des rôles et fonctions qu'assument ces figures dans l'ensemble d'un article. Nous considérerons, comme cas de figure, la recherche en nanotechnologie dans la perspective d'une sociologie des sciences.

This article features images in scientific communication. It analyzes, more specifically, the role of probe microscopy images in scientific publications based on the observation that an image rarely comes alone. Typically, an image is accompanied by other visual representations, which together constitute a heterogeneous and complex composition: a composite visual display. The paper investigates the interaction of the visual elements within such a composite figure, and the roles and functions that the figure assumes in the context of a research article. Based on a case study of nanotechnology research, this investigation is conducted from a science studies perspective.

Le rôle des visuels dans un article de revue scientifique. La formation d'un montage-type.**Jacques Fontanille – page 105**

Cette étude portant sur un seul article scientifique s'efforce de repérer les questions pertinentes, touchant à l'usage des modalités sémiotiques visuelles dans le discours scientifique. Elle s'intéresse aux types sémiotiques utilisés, à leurs agencements syntagmatiques et aux rôles argumentatifs de ceux-ci, de type narratif ou rhétorique. Elle établit ainsi une séquence canonique des visuels (un montage-type), caractéristique de la stratégie persuasive de l'article et du positionnement éditorial de la revue.

This study, which focuses on only one scientific paper, attempts to identify relevant issues relating to the uses of visual semiotic modalities in scientific discourse. It is interested in the different kinds of visual semiotics used in this paper, in their syntagmatic organizations and in the argumentative roles of these, which are narrative or rhetoric. It establishes a canonical sequence of visuals (a montage-type), characteristic of the persuasive strategy of the paper and of the editorial positioning of the magazine.

HORS DOSSIER

Chassés-croisés à propos du film *Dancing***(P. M. Bernard, X. Brillat et P. Trividic – France, 2003).****Marie-Françoise Grange – page 119**

Le présent article étudie dans le film *Dancing* les enjeux de la question du genre, genre filmique et genre identitaire. Ainsi, le début du film refuse de mettre en place clairement des consignes de lecture; le personnage de l'Idiot « dégenré » performe l'image autoportraitique dont il énonce les limites et frontières.

This article looks at how the film *Dancing* questions the issues of genre and gender. No specific markers are given as to how to read the film. Hence the "ungendered" character of the "Idiot" is performative of the image of the self-portrait of which he sets out the limits and boundaries.

ARTS VISUELS

CINÉMA

CULTURE, LITTÉRATURE ET SOCIÉTÉ

CRÉATION LITTÉRAIRE

HISTOIRE ET PATRIMOINE

THÉÂTRE ET MUSIQUE

THÉORIES, ESSAIS ET ANALYSES

La culture en revues

LES REVUES CULTURELLES QUÉBÉCOISES

sodep
Société de développement
des périodiques
culturels québécois

www.sodep.qc.ca

Catherine Allamel-Raffin

Catherine Allamel-Raffin est maître de conférences en philosophie des sciences à l'Université de Strasbourg. Elle est rattachée à l'Institut de recherches interdisciplinaires sur les sciences et la technologie (IRIST). Ses thèmes de recherches sont les images scientifiques dans plusieurs domaines des sciences de la nature : physique des matériaux, astrophysique et, plus récemment, pharmacologie. Elle croise, pour ce faire, des concepts issus de la sémiotique (Peirce, Groupe μ) avec ceux issus de la sociologie et de la philosophie des sciences. Sur ce thème, elle a publié plusieurs articles dans différentes revues : *Communication et langages*, *Philosophia Scientiæ*, *Les Génies de la Science* et *Visio*.

Guy Blackburn

Guy Blackburn est né à Chicoutimi en 1956, y vit et y travaille. Sa pratique, amorcée au début des années 1980, l'a amené à participer à de nombreuses expositions et manifestations d'art actuel, au Québec, au Canada et à l'étranger. Depuis 1990, l'artiste pluridisciplinaire a proposé un ensemble d'œuvres qui a su intéresser un large public, entretenir une médiatisation soutenue et bénéficier d'une analyse importante. Pensons seulement aux projets « La Cécité », « Hommage à Anna », « Espace interdit », « Quémander l'affection » et à la série de quatre installations au Musée de la guerre froide de Carp, en Ontario. Plus récemment, il a présenté au public « Sans Silence » et « Extrait d'ambiguïté » au Musée de Rimouski, à la Galerie Séquence de Chicoutimi ainsi qu'à la Biennale nationale de sculpture contemporaine de Trois-Rivières. Sa dernière aventure d'art « Touche » est une œuvre majeure produite et diffusée avec la complicité du Centre national de recherche et diffusion en arts contemporains numériques, Sagamie, d'Alma. Sa recherche se concentre actuellement sur un corpus nommé « Réparer mes colères ». Bien que l'on puisse parler chez Blackburn de pratique ouverte, l'installation demeure au cœur de son travail.

Anne Beyaert-Geslin

Anne Beyaert-Geslin est maître de conférences à l'Université de Limoges et membre de Centre de recherches sémiotiques. Elle est responsable de la publication de la revue *Nouveaux actes sémiotiques* électroniques [<http://revues.unilim.fr/nas/>] et de la revue *Visible*. Elle a publié *L'Image préoccupée* (Hermès-Lavoisier, 2009), un ouvrage consacré à la photographie de reportage, des articles de sémiotique visuelle et de sémiotique

des médias ainsi que des notices de sémiotique générale (*Dictionnaire des sciences humaines*, PUF, 2006). Elle a en outre dirigé plusieurs ouvrages collectifs et, pour les plus récents, *L'Image entre sens et signification* (Éd. de la Sorbonne, 2006) ainsi que, avec Anne Henault, *Ateliers de sémiotique visuelle* (PUF, 2004).

Luc Desnoyers

Luc Desnoyers est ergonomiste et spécialiste de la communication visuelle. Il est professeur associé à l'Université du Québec à Montréal. Impliqué depuis de nombreuses années dans la formation des étudiants des cycles supérieurs à la communication en congrès, il a développé des recherches sur ce type de communication. Il s'intéresse en particulier à l'impact des déterminants technologiques, socio-organisationnels et environnementaux dans les conférences, de même qu'à la conception et à l'utilisation des images dans les différentes formes de communication des scientifiques.

Maria Giulia Dondero

Maria Giulia Dondero est chercheuse qualifiée au Fonds national belge de la recherche scientifique (FNRS) et travaille à l'Université de Liège où elle poursuit des recherches en sémiotique visuelle, notamment sur l'image dans le discours scientifique. Elle a dirigé plusieurs numéros de revues et est l'auteure d'une quarantaine d'articles en langues française, italienne et anglaise publiés dans des revues de sémiotique, de communication et d'esthétique (*Nouveaux actes sémiotiques*, *Protée*, *RS/SI*, *Visible*, *Communication et langages*, *Recherches en communication*, *Voir barré*, *Locus Solus*, *Il Verri*). Elle a publié récemment deux ouvrages : *Semiotica della fotografia*. *Investigazioni teoriche e pratiche d'analisi*, avec P. Basso Fossali (Guaraldi, 2006 et 2008) et *Le Sacré dans l'image photographique*. *Études sémiotiques* (Hermès Lavoisier, 2009).

Francis Edeline

Ingénieur chimiste, Francis Edeline a publié de nombreuses études sur le symbolisme et sur la poésie, ainsi que des travaux de sémiotique. Auteur de monographies sur *Ian Hamilton Finlay* (1977) et sur *Pierre Garnier* (1982), ainsi que de *Vocaliques* (1987), un essai sur les voyelles. Il a dirigé un numéro spécial des *Cahiers internationaux de symbolisme* consacré à l'*Herméneutique du Mandala* (1984). En préparation : *L'Intersémiotique* et *Les Voies du symbole*. Membre du Groupe μ depuis sa fondation, avec lequel il a publié notamment : *Rhétorique générale* (La-

rousse, 1970 ; Seuil, 1982, trad. en 8 langues) ; *Rhétorique de la Poésie* (Complexe, 1977 ; Seuil, 1990, trad. en roumain) ; *Traité du signe visuel* (Seuil, 1991, trad. en espagnol, en allemand et en italien) ; ainsi que de nombreux articles.

Jacques Fontanille

Jacques Fontanille est professeur de sémiotique à l'Université de Limoges, membre senior de l'Institut universitaire de France. Il a créé à Limoges le Centre de recherches sémiotiques, ainsi que la revue *Nouveaux actes sémiotiques* et la collection d'ouvrages *NAS*, édités par les PULIM. Il est également président honoraire de l'Association internationale de sémiotique visuelle et de l'Association française de sémiotique. Il est l'auteur de nombreuses publications dans les domaines de la sémiotique théorique, de la sémiotique littéraire et de la sémiotique visuelle, de la rhétorique et de la linguistique générale. Il a dirigé douze ouvrages collectifs, les plus récents étant : *Régimes sémiotiques de la temporalité : la flèche brisée du temps*, avec D. Bertrand (PUF) ; *Les Âges de la vie*. *Sémiotique du temps et de la culture*, avec I. Darrault (PUF) ; *Configurations dynamiques de l'émotion* (Sémiotica). Il a publié onze livres à titre personnel, dont *Les Espaces subjectifs* (Hachette) ; *Sémiotique des passions*. *Des états de choses aux états d'âme*, avec A.J. Greimas (Seuil) ; *Sémiotique du visible*. *Des mondes de lumière* (PUF) ; *Tension et Signification*, avec C. Zilberberg (Mardaga) ; *Sémiotique et Littérature : essais de méthode* (PUF) ; *Sémiotique du discours* (PULIM) ; *Séma et Soma*. *Les figures du corps*. (Maisonneuve et Larose) ; *Pratiques Sémiotiques* (PUF). Il est président de l'Université de Limoges depuis février 2005, et vice-président de la Conférence des présidents d'universités françaises. Il a été professeur invité ou conférencier invité dans une centaine d'universités américaines, européennes et africaines. Il est membre actif de plusieurs comités scientifiques de sociétés savantes et de revues internationales dans le domaine sémiotique.

Marie-Françoise Grange

Marie-Françoise Grange est maître de conférences en études cinématographiques au Département d'arts plastiques de l'Université de Saint-Étienne (France). Son travail de recherche porte actuellement sur la question du emploi au cinéma. Elle a codirigé, avec G. Delavaud et J.-P. Esquénazi, *Godard et le métier d'artiste* (L'Harmattan, 2001). Elle vient de publier *L'Autoportrait en cinéma* (Presses Universitaires de Rennes, 2008).

Vincent Israël-Jost

Vincent Israël-Jost est mathématicien de formation et a obtenu un doctorat en mathématiques appliquées au traitement d'images médicales (Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2006). Il poursuit depuis 2005 un cursus en philosophie des sciences à l'IHPST (Université de Paris 1, Panthéon-Sorbonne), obtenant un *Master* en 2007, et travaille à présent sur sa thèse de doctorat qui traite de l'impact des instruments d'imagerie sur le concept d'observation. Les images médicales sont au centre de ses investigations, que ce soit dans le champ scientifique ou philosophique.

Jean-Marie Klinkenberg

Jean-Marie Klinkenberg est titulaire de la chaire de Sémiotique et de Rhétorique à l'Université de Liège (Belgique). Membre du Groupe μ , il a publié plus de 500 travaux relevant de la sémiotique, de la linguistique et l'analyse des cultures, depuis *Rhétorique générale* (1970), un classique des sciences humaines traduit en une vingtaine de langues, jusqu'aux *Petites mythologies belges* (2009). Membre de l'Académie royale de Belgique, il est président de l'International Association for Visual Semiotics.

Martina Merz

Martina Merz est professeure boursière du Fonds national suisse à l'Institut de sociologie de l'Université de Lucerne (Suisse). Son domaine de recherche et d'enseignement concerne la sociologie des sciences et des techniques avec un intérêt particulier pour les pratiques et cultures épistémiques des sciences contemporaines.

intermédialités

HISTOIRE ET THÉORIE DES ARTS, DES LETTRES ET DES TECHNIQUES

Mettre en scène

sous la direction de
George Brown,
Gerd Hauck et
Jean-Marc Larrue



Un inédit de Paul Zumthor

n° 12

«Mettre en scène»: une approche intermédiaire de la réalité
théâtrale actuelle

George Brown, Gerhard Hauck et Jean-Marc Larrue

Théâtre et intermédialité: une rencontre tardive

Jean-Marc Larrue

After Brecht: the Impact (Effects, Affects) of Intermedial Theatre

Robin Nelson

Le « projet multithéâtral »

Transformations intermédiaires des scènes italiennes
contemporaines

Erica Magris

Interartialité et remédiation scénique de la peinture

Tatiana Burtin

Digital Multivocality and Embodied Language in Theatrical Space

Michael Darroch

Quand le son écoute la scène.

Une exploration inédite de la matière théâtrale

Marie-Madeleine Mervant-Roux

Sense & Sensation: the Act of Mediation and its Effects

Julie Wilson-Bokowiec et Mark Bokowiec

Artiste invité/Guest Artist

Goulet, scénographe de Marleau

Johanne Lamoureux

Michel Goulet, Denis Marleau

Hors dossier/Miscellaneous

Document: Oralité — un inédit de Paul Zumthor

Philippe Despoix

Oralité

Paul Zumthor

À paraître

n° 13 Programmer

n° 14 Bâtir

Dossiers électroniques

n° 3 Accompagner

n° 4 Re-dire

PROCHAINS NUMÉROS (titres de travail)

Vol. 38, n° 1 : Le Groupe μ entre rhétorique et sémiotique. Archéologie et perspectives ; vol. 38, n° 2 : Répétition et habitude dans les pratiques quotidiennes ; vol. 38, n° 3 : Esthétiques numériques.

• Les personnes qui désirent soumettre un projet de dossier ou encore un article pouvant éventuellement s'intégrer à l'un des dossiers à venir sont priées de faire parvenir leur texte dans les meilleurs délais à la direction de *Protée*.

ANCIENS NUMÉROS DISPONIBLES

• 1985, vol. 13, n° 3 : L'art critique. • 1986, vol. 14, n° 1/2 : La lisibilité ; vol. 14, n° 3 : Sémiotiques de Pellan. • 1987, vol. 15, n° 1 : Archéologie de la modernité ; vol. 15, n° 2 : La traductique ; vol. 15, n° 3 : L'épreuve du texte (description et métalangage). • 1988, vol. 16, n° 3 : La divulgation du savoir. • 1989, vol. 17, n° 1 : Les images de la scène ; vol. 17, n° 2 : Lecture et mauvais genres ; vol. 17, n° 3 : Esthétiques des années trente. • 1990, vol. 18, n° 1 : Rythmes ; vol. 18, n° 2 : Discours : sémantiques et cognitions ; vol. 18, n° 3 : La reproduction photographique comme signe. • 1991, vol. 19, n° 2 : Sémiotiques du quotidien ; vol. 19, n° 3 : Le cinéma et les autres arts. • 1992, vol. 20, n° 1 : La transmission ; vol. 20, n° 2 : Signes et gestes ; vol. 20, n° 3 : Elle signe. • 1993, vol. 21, n° 1 : Schémas ; vol. 21, n° 2 : Sémiotique de l'affect ; vol. 21, n° 3 : Gestualités. • 1994, vol. 22, n° 1 : Représentations de l'Autre ; vol. 22, n° 2 : Le lieu commun ; vol. 22, n° 3 : Le faux. • 1995, vol. 23, n° 1 : La perception. Expressions et Interprétations ; vol. 23, n° 2 : Style et sémosis ; vol. 23, n° 3 : Répétitions esthétiques. • 1996, vol. 24, n° 1 : Rhétoriques du visible ; vol. 24, n° 2 : Les interférences ; vol. 24, n° 3 : Espaces du dehors. • 1997, vol. 25, n° 1 : Sémiotique des mémoires au cinéma ; vol. 25, n° 2 : Musique et procès de sens ; vol. 25, n° 3 : Lecture, traduction, culture. • 1998, vol. 26, n° 3 : Logique de l'icône. • 1999, vol. 27, n° 1 : La Mort de Molière et des autres ; vol. 27, n° 2 : La Réception ; vol. 27, n° 3 : L'Imaginaire de la fin. • 2000, vol. 28, n° 1 : Variations sur l'origine ; vol. 28, n° 2 : Le Silence ; vol. 28, n° 3 : Mélancolie entre les arts. • 2001, vol. 29, n° 1 : La Société des objets. Problèmes d'interobjectivité ; vol. 29, n° 2 : Danse et Altérité ; vol. 29, n° 3 : Iconoclastes : langue, arts, médias. • 2002, vol. 30, n° 1 : Les formes culturelles de la communication ; vol. 30, n° 2 : Sémiologie et herméneutique du timbre-poste ; vol. 30, n° 3 : Autour de Peirce : poésie et clinique. • 2003, vol. 31, n° 1 : La transposition générique ; vol. 31, n° 2 : Cannes hors projections ; vol. 31, n° 3 : Lumières. • 2004, vol. 32, n° 1 : Mémoire et médiations ; vol. 32, n° 2 : L'archivage numérique : conditions, enjeux, effets ; vol. 32, n° 3 : La rumeur. • 2005, vol. 33, n° 1 : L'allégorie visuelle ; vol. 33, n° 2 : Le sens du parcours ; vol. 33, n° 3 : Filiations. • 2006, vol. 34, n° 1 : Fortune et actualité de Du sens ; vol. 34, n° 2-3 : Actualités du récit. Pratiques, théories, modèles. • 2007, vol. 35, n° 1 : Échos et résonances ; vol. 35, n° 2 : Imaginaire des ruines ; vol. 35, n° 3 : Poétiques de l'archive. • 2008, vol. 36, n° 1 : Le symbole : réflexions théoriques et enjeux contemporains ; vol. 36, n° 2 : Éthique et sémiotique du sujet ; vol. 36, n° 3 : Le titre des œuvres : accessoire, complément ou supplément. • 2009, vol. 37, n° 1 : Corps photographiques / corps politiques ; vol. 37, n° 2 : Avec le génocide, l'indicible ; vol. 37, n° 3 : Regards croisés sur les images scientifiques.

ABONNEMENT

Protée paraît trois fois l'an
(taxes et frais de poste inclus)

Canada

1 an : individuel 35 \$ (étudiant 20 \$) ; institutionnel 40 \$
2 ans : individuel 63 \$ (étudiant 36 \$) ; institutionnel 72 \$
3 ans : individuel 87 \$ (étudiant 51 \$) ; institutionnel 102 \$

États-Unis

1 an : individuel 40 \$; institutionnel 54 \$
2 ans : individuel 72 \$; institutionnel 97 \$
3 ans : individuel 108 \$; institutionnel 138 \$

Autres

1 an : individuel 45 \$; institutionnel 60 \$
2 ans : individuel 81 \$; institutionnel 108 \$
3 ans : individuel 122 \$; institutionnel 153 \$

Avec un abonnement individuel de 2 ans, vous recevez 2 numéros gratuits de votre choix ;
avec un abonnement individuel de 3 ans, vous recevez 3 numéros gratuits de votre choix. Cette offre s'applique aux volumes non épuisés.

PROTÉE

Version imprimée

Veillez m'abonner à la revue pour ___ an(s) à partir du volume ___ n° ___ .

Version électronique (cédérom annuel)

Nom _____

Adresse _____

_____ adresse électronique _____

L'étudiant doit joindre une pièce justificative.

Chèque tiré sur une banque canadienne, en dollars canadiens ; mandat-poste en dollars canadiens, fait à l'ordre de
Protée, département des arts et lettres, Université du Québec à Chicoutimi, 555, boul. de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1.

POLITIQUE ÉDITORIALE

Protée est une revue universitaire dans le champ diversifié de la sémiotique, définie comme science des signes, du langage et des discours. On y aborde des problèmes d'ordre théorique et pratique liés à l'explication, à la modélisation et à l'interprétation d'objets ou de phénomènes langagiers, textuels, symboliques et culturels, où se pose, de façon diverse, la question de la **signification**.

Les réflexions et les analyses peuvent prendre pour objet la langue, les textes, les œuvres d'art et les pratiques sociales et culturelles de toutes sortes et mettre à contribution les diverses approches sémiotiques développées dans le cadre des différentes sciences du langage et des signes : linguistique, théories littéraires, philosophie du langage, esthétique, théorie de l'art, théorie du cinéma et du théâtre, etc.

La revue met aussi en valeur les pratiques sémiotiques proprement dites, et fait ainsi une place importante à la production artistique. Chaque numéro reçoit la collaboration d'un ou de plusieurs artistes (peintre, sculpteur, graveur, dessinateur ou designer). *Les œuvres choisies doivent être inédites* et c'est à la revue qu'il incombe de faire le choix iconographique final. **Protée** fait le plus possible place à la production culturelle « périphérique » et aux contributions « régionales » à l'étude des thèmes choisis.

Chaque numéro de la revue se partage habituellement en deux sections : 1) un dossier thématique regroupant des articles abordant sous différents angles un même problème, 2) des documents et articles hors dossier et/ou des chroniques et points de vue critiques. Les propositions de dossiers thématiques soumises au Comité de rédaction doivent présenter clairement le thème choisi, ses enjeux et ses objectifs, de même que sa pertinence par rapport à la politique éditoriale de la revue. Elles doivent être accompagnées pour la première évaluation de la liste des collaborateurs pressentis. La seconde évaluation des dossiers, faite un an avant la date présumée de publication, juge des modifications apportées, examine la liste des collaborations confirmées et établit une date définitive de parution. *Chaque dossier doit comprendre au moins six contributions inédites* (d'un maximum de 20 pages dactylographiées chacune, à raison de 25 lignes par page) et ne doit pas dépasser dix contributions). Le(s) responsable(s) dont le projet de dossier est accepté par le Comité de rédaction s'engage(nt), vis-à-vis de la revue, à respecter le projet soumis, à fournir un dossier similaire à celui qui a été proposé et accepté ainsi qu'à produire les documents pour la date convenue. En revanche la revue s'engage, vis-à-vis du ou des responsable(s), à fournir le soutien technique et logistique nécessaire à la réalisation du dossier et éventuellement à suggérer des collaborations soumises directement à la revue.

Les articles soumis sont envoyés anonymement à trois membres du Comité de lecture ou à des lecteurs spécialistes des questions traitées. Les auteurs sont avisés de la décision de publication ou des éventuelles modifications à apporter à leur texte dans les mois suivant la réception de leur article. Dans le cas d'un refus, l'avis est accompagné des raisons qui l'ont motivé. Les documents reçus ne sont retournés que s'ils sont accompagnés d'une enveloppe de retour dûment affranchie. Les auteurs sont tenus de respecter le protocole de rédaction.

PROTOCOLE DE RÉDACTION

Les collaborateurs de **Protée** sont instamment priés

1. d'inscrire, sur la première page, en haut, le titre du texte ; de présenter celui-ci à double interligne (25 lignes par page) sans ajouter de blanc entre les paragraphes, sauf devant un intertitre ;
2. d'éviter les CAPITALES, petites ou grandes, ou le **caractère gras**, préférer l'*italique* ou encore les « guillemets français » pour accentuer ou signaler certains mots, par exemple les mots étrangers ;
3. de faire suivre les citations dans le corps du texte par la mention bibliographique « (auteur, année : page) » et de dresser les références bibliographiques à la fin de l'article – les références des citations ne doivent pas apparaître en note ;
4. de mettre en italique, dans les notes, le titre des livres, revues et journaux, et de mettre simplement entre guillemets les titres d'articles, de poèmes ou de chapitres de livres ;
5. de présenter, de la façon suivante, les références bibliographiques :
Benveniste, É. [(1966) 1974] : « Formes nouvelles de la composition nominale », *BSL*, LXI-1, repris dans *Problèmes de linguistique générale*, tome 2, Paris, Gallimard, 163-176.
Greimas, A. J. et J. Courtés [1979] : *Sémiotique. Dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, tome 1, Paris, Hachette ;
6. de ne mettre les majuscules dans un titre d'ouvrage qu'au premier substantif et aux mots qui le précèdent ; de suivre les règles de M.-É. de Villers (*Multidictionnaire de la langue française*, Montréal, Québec Amérique, 2003) concernant les titres dans le corps du texte ;
7. de traduire en français, dans le corps du texte, les citations tirées de textes anglais et de les faire suivre de la mention « (auteur, année : page ; notre traduction) » et d'un appel de note – dans la note, on placera l'original anglais ;
8. de s'en tenir, quant au reste et pour l'essentiel, aux notes de contenu ;
9. de suivre les règles de la langue du texte pour les titres d'ouvrages étrangers ;
10. de placer les citations de plus de trois lignes en retrait à la ligne ;
11. de limiter leur texte à un maximum de vingt pages ;
12. d'expédier, le cas échéant, la disquette (format 3,5 po) contenant leur document ; la revue utilise le texteur *Word* de Microsoft pour le Macintosh. Les documents préparés avec d'autres logiciels et ceux qui sont produits au moyen de logiciels Microsoft-DOS ou Microsoft-Windows sont également acceptés, pourvu qu'ils soient sauvegardés sous format « DOC » ou « RTF » ;
13. de fournir, s'il y a lieu, les photos (noir et blanc) « bien contrastées » sur papier glacé 8 x 10 po (200 x 250 cm) ou les diapositives ou les images numérisées sous format TIF ou EPS (300 ppp). Ces images ne devront, en aucun cas, être puisées sur Internet et les collaborateurs devront s'assurer que les droits de reproduction ont été cédés, ou du moins fournir les noms des organismes qui représentent les artistes ;
14. d'annexer un résumé succinct, en français et en anglais, à leur texte, ainsi qu'une brève notice biographique.