



Signata

Annales des sémiotiques / Annals of Semiotics

1 | 2010

Cartographie de la sémiotique actuelle

Sémiotique de l'image scientifique

Maria Giulia Dondero



Édition électronique

URL : <http://signata.revues.org/291>

DOI : 10.4000/signata.291

ISSN : 2565-7097

Éditeur

Presses universitaires de Liège (PULg)

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2010

Pagination : 111-175

ISBN : 978-2-87544-001-3

ISSN : 2032-9806

Référence électronique

Maria Giulia Dondero, « Sémiotique de l'image scientifique », *Signata* [En ligne], 1 | 2010, mis en ligne le 26 avril 2016, consulté le 01 avril 2017. URL : <http://signata.revues.org/291> ; DOI : 10.4000/signata.291

IMAGE & SCIENCE

Sémiotique de l'image scientifique

Maria Giulia DONDERO
F.R.S.-FNRS – Université de Liège

1. Introduction

Ce travail vise à faire l'état de l'art des études sémiotiques sur un sujet de recherches, l'image scientifique, qui a vu naître un intérêt renouvelé dans le domaine de la sémiotique francophone grâce à un programme de recherche de l'Agence Nationale de la Recherche française (A.N.R.) intitulé « Images et dispositifs de visualisation scientifique » (IDiViS) coordonné par Anne Beyaert-Geslin du Centre des Recherches Sémiotiques (CeReS) de l'Université de Limoges. Ce programme triennal (2008–2010) arrive à présent à son terme, mais les enjeux des recherches menées dans ce cadre et concernant le développement de la discipline dépassent le caractère limité dans le temps de cet engagement institutionnel. Les études et les échanges entre l'université de Limoges, les universités de Strasbourg, Liège et Venise, co-coordinatrices du programme, ouvrent à notre sens des nouvelles perspectives pour les études sémiotiques, ces recherches ayant le mérite non seulement de revenir sur des sujets de discussion qui sont fondamentaux pour toutes les approches sémiotiques (le rapport à la référence et l'analyse de la genèse du plan de l'expression des textes, par exemple) mais aussi de permettre des rencontres, plus ou moins locales, entre des traditions sémiotiques différentes, comme celles de Charles Sanders Peirce, de l'École de Paris et du Groupe μ . Nous aimerions donc à cette occasion faire le point sur certaines questions qui nous apparaissent comme décisives vis-à-vis du futur de la discipline sémiotique. Elles sont quatre, et nous les exposerons en quatre sections distinctes :

1. la relation entre l'image et ses techniques de production, qui engendre une réflexion sur le statut de la référence scientifique ;

2. le rapport entre l'image et la mathématisation, qui nous permettra de traiter la question du diagramme et du raisonnement diagrammatique;
3. le rapport entre « l'image en train de se faire » en laboratoire et l'image sélectionnée par la littérature scientifique (« l'image faite »), qui engendre une réflexion sur les genres discursifs de la littérature scientifique, et notamment sur le rapport entre articles de recherche pour les revues spécialisées et ouvrages de vulgarisation;
4. enfin, la prise en compte des différents genres discursifs de la production scientifique nous amènera à quelques considérations sur le rapport entre vulgarisation et domaine de l'art.

2. Présentation des problématiques

La première problématique qui nous semble pertinente pour aborder le domaine de l'image scientifique est celle du rapport entre l'image et ses pratiques de production. Comme il est couramment admis, la sémiotique de Peirce et la sémiotique du Groupe μ ont toujours prêté une attention considérable à l'acte de production des énoncés, et notamment aux techniques d'instanciation : le Groupe μ l'a fait à partir de la théorie de la transformation d'un côté et de la texture de l'autre¹; la théorie peircienne est dans son ensemble, pourrions-nous dire, une théorie de l'instanciation, notamment à travers les notions d'indicialité et d'objet immédiat. Au contraire, la sémiotique de l'École de Paris a laissé pour longtemps l'analyse de l'acte d'énonciation de côté, en préférant l'analyse formelle des énoncés eux-mêmes², surtout dans le cas de la peinture et des objets artistiques. Cela s'explique par les choix faits par le chef de file de l'École de Paris, A.J. Greimas qui, en théorisant le parcours génératif du sens, l'a limité au contenu, ce qui a retardé pour longtemps la théorisation d'un parcours génératif de l'expression. Une proposition systématique à ce sujet n'a vu le jour qu'avec l'ouvrage *Pratiques sémiotiques* de Jacques Fontanille en 2008, qui recueille des réflexions qui datent déjà de 2004³. Les travaux de Jean-François Bordron présentent, depuis au moins

1. Voir à ce propos Groupe μ (1992).

2. Sur la théorie de l'énonciation dans la théorie greimassienne en tant que théorie de l'énonciation énoncée et non pas de l'acte d'énonciation voir Greimas & Courtés (1979) et le dossier « Arts du faire » (Beyaert-Geslin, Dondero et Fontanille eds 2009).

3. Il faut remarquer aussi que la réflexion de Fontanille sur la question d'un parcours génératif de l'expression est en germination au moins depuis 1999 avec les recherches du séminaire intersémiotique de Paris consacré aux « Modes du sensible et sémiotique du corps » (1998-2000). Pour des renseignements supplémentaires sur le séminaire se rendre à cette adresse : http://www.unilim.fr/pages_perso/jacques.fontanille/Fontanille-seminaires.html. Voir à ce sujet aussi Fontanille (1998, 1999, 2005). Le passage de paradigme entre analyse de l'énonciation énoncée et analyse des actes d'énonciation a été étudié dans Beyaert-Geslin, Dondero, Fontanille (eds, 2009) par plusieurs chercheurs.

une quinzaine d'années, des propositions pour analyser le parcours génératif de l'expression. Ces propositions sont à la fois fidèles aux fondements hjelmsleviens de la transformation de la matière en la forme à travers un parcours par la substanciation, et ancrées dans la phanérosopie peircienne⁴. Cette théorisation ne peut donc être entièrement comprise comme un développement « pur » de la théorie greimassienne mais ces travaux, consacrés à une phénoménologie de l'instanciation du plan de l'expression, nous donnent un aperçu important d'une orientation de recherches visant à construire des commensurabilités entre la tradition peircienne et les avancements de la sémiotique hjelmslevienne. Ces travaux ainsi que ceux de Fontanille, consacrés aux techniques de production dans le cadre de la visualisation scientifique, ont visiblement ouvert un nouveau terrain de l'investigation sémiotique européenne.

Il faut également remarquer que le retard pris sur l'analyse des actes et des techniques de production dans le cadre de la sémiotique greimassienne s'explique par le fait que cette dernière ait pris en examen de préférence les images artistiques. Cela ne veut évidemment pas dire que, dans l'analyse de l'énonciation énoncée, cette approche n'ait pas pris en compte les traces de la production, voire des traits singuliers du faire de l'artiste, notamment à travers la théorisation de la texture dans le cadre de la sémiotique plastique (voir Beyaert-Geslin 2004, 2008 et Le Guern 2008)⁵. Mais cette investigation a rarement porté l'attention sur la manière dont les œuvres étaient produites et au moyen de quels instrument technologiques⁶. À quelques exceptions près, aucune analyse textuelle d'images artistiques n'a donc porté sur la sensori-motricité du faire pictural, ni sur la virtuosité, toutes questions qui mettent en jeu la signification d'une image artistique en tant que produit de la rencontre entre les corporéités du support-objet et du producteur⁷. Cet oubli de la prise en compte des techniques d'instanciation est dû aussi au fait que l'image artistique, qui a servi de modèle à la théorisation des textes visuels, a toujours été

-
4. Pour plus de détails sur cette proposition voir Bordron (2006) où l'auteur rapproche le moment phénoménologique de la matière à l'indicialité peircienne, le moment de la substanciation à l'iconicité — articulé en trois étapes, celle de la force d'une source d'énergie (la lumière ou la vibration sonore), celle de la sélection (formation des pics de sensibilités, de bords, de valeurs critiques, etc.) et celle de l'organisation (articulation, composition méréologique, etc.); l'identification d'une forme discriminante coïnciderait avec l'étape de la symbolicité.
 5. Nous faisons référence ici à l'analyse de Thürlemann (1982) sur *Blumen-Mythos* (1918) de Paul Klee qui reste une analyse exemplaire de la procédure greimassienne mais qui justement ne tient pas en compte la question du support d'inscription du tableau, la gaze, et les types de mouvements d'inscription que ce support interdit et rend possibles.
 6. Nous nous permettons de rappeler que nous avons essayé d'apporter des compléments à la sémiotique greimassienne à travers la prise en compte, au niveau méthodologique, également de la théorisation de N. Goodman (1968) sur les arts autographiques et les arts allographiques. Voir à ce propos Basso Fossali & Dondero (2006, version française 2011), Dondero (2009c).
 7. Voir à ce propos les propositions du Groupe μ en ce qui concerne la texture ainsi que Fontanille (2005) et Klock-Fontanille (2005) en ce qui concerne la distinction entre support formel et support matériel de l'objet textuel.

considérée comme une image séparée de la vie quotidienne et ainsi sacralisée : si dans le cas de l'image scientifique les paramètres et les procédures de sa production doivent toujours être affichés et répondent à la demande de justesse et justifiabilité de l'image, dans le cas de l'image artistique le corps producteur de l'artiste est sacralisé, la technique est souvent considérée par la doxa comme mystérieuse ou secrète, quelque fois même comme un produit du hasard. Cette doxa peut à notre avis aider à comprendre les raisons non proprement disciplinaires de cet oubli.

Cette indifférence à ce qu'on peut appeler aujourd'hui la *syntaxe figurative* des textes visuels (Fontanille 2004), à savoir la relation entre support, apport et techniques du *modus operandi*, nous l'avons remarquée aussi dans l'étude de la photographie (voir Basso Fossali & Dondero 2011 et Dondero 2008). Cette dernière a été conçue à partir de ses formes de l'expression, et non pas de sa substance de l'expression (*contra* Floch 1986) et par conséquent les analyses qui ont été consacrées aux photos ont laissé de côté la question médiatique.

Lors des premières réflexions sur l'image scientifique — qui, contrairement à l'image de statut artistique, ne peut être considérée ni comme « séparée » ni comme un monde clôturé en lui-même à travers un cadre l'offrant à la *contemplation* — il a été d'autant plus nécessaire de rendre compte de la signification des techniques de production, afin d'expliquer les efforts faits pour imager les phénomènes qui ne sont pas saisissables dans le monde de la vie quotidienne⁸, ainsi que les *manipulations* que l'image scientifique, en tant que lieu d'expérimentation, requiert.

Sur les techniques de production de l'imagerie contemporaine, Fontanille (2007) a proposé une typologie qui se révèle fondamentale pour pouvoir concevoir l'énonciation visuelle en tant qu'acte d'exploration (non seulement photonique⁹,

8. Fontanille (2007) affirme à ce propos qu'avec l'image artistique le *modus operandi* de la production pouvait être étudié à partir de l'image elle-même car le *modus operandi* est « transparent », en ce sens qu'il semble entièrement accessible à travers le dispositif visuel soumis au faire interprétatif, en raison de l'homogénéité substantielle entre les schémas visuels associés à la gestualité, et les formants plastiques dont elle est la trace » (p. 1). Cela n'est pas le cas avec l'image scientifique où les schémas visuels n'ont aucune transparence avec les pratiques instrumentales d'instanciation ; l'image scientifique, contrairement à l'image esthétique, demande de sortir de l'immanence textuelle : « Aussi longtemps que cette accommodation entre deux expériences pratiques, par la médiation d'une sémiotique-objet de nature textuelle — l'image — reste envisageable, la prise en considération du *modus operandi* n'oblige pas à sortir de l'immanence textuelle. En revanche, à partir du moment où cette accommodation n'est plus possible, et notamment si les deux expériences sont substantiellement hétérogènes, il faut faire appel à d'autres plans d'immanence que celui de l'image proprement dite » (*ibid.*).

9. À ce propos Fontanille précise : « L'exploration photonique n'est donc qu'un cas particulier d'excitation, mais c'est celui sur lequel repose notre expérience sensorielle quotidienne, organisée à partir de l'action et des jeux de la lumière dans le monde naturel ; c'est aussi celui qui fonde implicitement la sémiotique dite « visuelle », en ce sens que le mode d'excitation et le mode de réception y sont substantiellement homogènes : une excitation photonique d'un côté, une réception visuelle de l'autre, et le rayonnement lumineux entre les deux. Certes, un code culturel s'impose entre la réception et l'interprétation, mais il n'affecte pas la « naturalité » de l'exploration, les deux instances, d'excitation et de réception, étant substantiellement isotopes.

comme dans le monde de la vie quotidienne) qui se précise en deux mouvements spécifiant ceux du débrayage et de l'embrayage, à savoir l'« excitation » d'une matière et la « récolte de la réponse » qui subira ensuite une transduction visuelle. Fontanille affirme à ce propos :

L'acte d'énonciation étant posé comme une exploration, l'instance *ab quo* de l'énonciation doit être (provisoirement) redéfinie comme un principe d'excitation : les formes, les matières et les surfaces sont « explorées-excitées » par un type de particule, et c'est la réponse à cette excitation qui peut être exploitée pour produire des « images », elles-mêmes saisies par l'instance *ad quem* de l'énonciation, l'instance de réception visuelle (Fontanille 2007, p. 21).

Si Fontanille se positionne à la source de la question de la production technologique, voire de l'exploration-constitution d'un objet de référence à travers des questionnements à la fois instrumentaux et théoriques précis (la référence serait donc le résultat des transductions visuelles des réponses à des multiples provocations, dans un esprit tout à fait expérimental)¹⁰, les recherches de Jean-François Bordron se positionnent un peu différemment : non tant du côté des techniques productives d'images mais du côté de la sémantisation de la phénoménologie de la production. Le rapport entre le référent et l'image est donc abordé par Fontanille à partir des techniques qui doivent imaginer une référence non saisissable à travers les sens à cause de la petitesse du phénomène (voir Fontanille 2007), de la distance¹¹, de l'éloignement temporel ou de la compacité des obstacles¹², etc. : il s'agit d'une recherche sur la récolte de réponses à partir de « provocations » expérimentales. En revanche Bordron s'interroge sur les *référentiels* qui permettent de cerner la formation d'images à partir d'un théâtre de l'apparition qui a celle-ci pour objectif : c'est le cas de l'*image-horizon*, qui fait littéralement exister l'objet de l'enquête scientifique, sur laquelle nous reviendrons toute à l'heure.

Dans ses travaux, Beyaert-Geslin (2009, 2011, 2012) prend en considération une autre facette du rapport entre l'image et sa référence : cette dernière est « déjà là », constituée en une totalité, mais elle doit être étudiée, expérimentée, soumise à un diagnostic, restaurée : en un mot elle doit être rendue utile à travers des visualisations diverses (croquis, dessins, orthophotographies, photos aériennes, cartes géographiques, plan des villes, radiographies des dispositifs de sécurité, etc.). Beyaert-Geslin s'interroge sur les stratégies d'investigation scientifique qui font subir à l'objet de référence (une chaise, la terre ou une valise) un éclatement à travers les différentes techniques qui sont censées le représenter et/ou l'étudier.

C'est aussi cette homogénéité substantielle qui favorise le lien entre iconicité et référence, et leur renforcement réciproque au profit de la « foi perceptive » (Fontanille, 2007, p. 21). Cela ne se passe pas comme cela dans le cas des autres explorations non photoniques, où l'iconicité et la référence ne sont plus liées par un transducteur tel que la lumière.

10. Voir à ce sujet aussi Groupe μ (1996) et Klinkenberg (2010).

11. Voir à ce propos les recherches d'Allamel-Raffin (2004).

12. Voir à ce propos Dondero (2009b).

Si l'on assiste alors, avec Fontanille et Bordron, à la tentative de sélectionner des informations pour négocier la constitution d'une *totalité* d'objet suffisamment crédible au sein de la communauté scientifique à partir des phénomènes de types divers (signaux physiques, instruments, théories), avec Beyaert-Geslin on assiste à la diffraction de la référence — déjà attestée en tant qu'unité reconnue par la société —, à travers des pratiques d'expertise diverses et notamment les stratégies de la restauration qui défont l'objet pour le visualiser selon des rapports diagrammatiques différents. Dans le cas de l'objet d'art à restaurer (Beyaert-Geslin 2011), on assiste à l'éclatement de cet objet d'art sous le regard scientifique qui en multiplie les facettes, le virtualise en tant qu'objet unique pour l'actualiser en tant qu'ensemble de *versions* ou d'*esquisses*, chacune destinée à répondre à des questionnements multiples et à des manipulations diverses.

La deuxième problématique concerne le rapport entre visualisation et mathématiques. Dans cette partie il ne s'agira donc pas d'examiner les images résultant d'un travail expérimental au sens classique, où les outils de production sont des technologies tels les télescopes en astrophysique, le radar en géophysique, le microscope en biologie, etc., mais les images qui sont produites par des théories, des modèles mathématiques et donc par la traduction spatiale des équations et des formules algébriques. Il s'agit ici d'une expérimentation différente de la première car elle engendre de manière plus forte que la précédente un travail sur la visualisation, qui devient elle-même le véritable terrain de l'expérimentation du scientifique. Afin d'explorer les deux mouvements qui vont, l'un, de la trace photographique à la production de théories en passant par la schématisation, et l'autre, de la théorie physique et des modèles mathématiques à la visualisation, il nous faudra prendre en compte la notion de diagramme, notamment chez trois savants qui en sont les principaux théoriciens, à savoir Peirce, Goodman et Châtelet. La notion de diagramme permet effectivement d'expliquer comment l'image et d'autres représentations visuelles telles que le dessin ou bien la photographie composite, à l'instar des diagrammes mathématiques, peuvent devenir un support de travail qui permet de faire émerger de nouvelles formes et donc de nouvelles idées, nécessaires à la poursuite de l'enquête. Ceci nous permettra aussi de préciser ce qu'on peut entendre par « nécessité » de l'image scientifique au sens d'une image qui déploie un parcours de démonstration en elle-même.

La troisième problématique concerne le rapport entre les images produites et la littérature qui les sélectionne et les destine aux différents publics visés. Dans les deux premières sections on traite l'image selon l'approche latourienne de la « science en train de se faire ». Nous devons pourtant préciser : notre enquête ne concernera pas un travail ethnographique de laboratoire comme ceux de Latour ainsi que de Catherine Allamel-Raffin - qui dans ses travaux couple toujours les deux approches, à savoir la prise sur le vif de la science « en train de se faire » et la recherche sur la « science faite ». Dans les sections trois et quatre nous ne nous occuperons que de l'image du point de vue de la « science faite ». Nous visons

notamment à étudier les rôles des images dans les différents genres discursifs tels l'article de recherche et l'ouvrage de vulgarisation. Ce qui nous semble en fait important est de pouvoir tester comment un même objet de recherche peut être communiqué dans des genres discursifs aussi différents que l'article pour les spécialistes et l'ouvrage pour un public de collègues non spécialistes¹³. Nous verrons comment les « vues d'artiste », images fabriquées par des scientifiques et des graphistes, ont une fonction importante dans la vulgarisation savante car elles permettent la visualisation de ce qui n'est pas (encore) mesurable — et, souvent, difficilement concevable — en jouant donc un rôle de préconisateurs des recherches à accomplir.

Nous verrons aussi comment les images attestées comme artistiques sont des outils de vulgarisation et comment elles peuvent non seulement faire partager des recherches à un plus vaste nombre de personnes mais aussi repositionner le cadre de la recherche dans une perspective culturologique de la science. Mais le relation entre vulgarisation et art ne concerne pas seulement l'insertion d'images artistiques dans les ouvrages « grand public », mais aussi le fait que la vulgarisation montre un objet de recherche qui ne l'est plus, au moins qu'il ne l'est plus pour le moment... la vulgarisation montre en fait l'objet une fois que les recherches sur cet objet ont été suspendues : lorsque on l'appelle, paradoxalement, objet scientifique, à savoir un objet stabilisé et accepté dans le cadre d'une discipline donnée, il n'est plus un objet sur lequel on fait du travail scientifique, mais seulement de la communication. On reviendra sur ce paradoxe de la vulgarisation, seul genre qui présente des objets comme scientifiques, alors que la revue spécialisée ne traite que des objets en train de se constituer, des objets de la recherche et de l'expérimentation.

La quatrième problématique découle de la troisième, elle peut en être considérée comme un développement. Il s'agira de rebondir sur les liens entre deux domaines qui peuvent apparaître aux antipodes dans notre culture occidentale contemporaine, mais qui ne le sont pas tout à fait. On prendra ainsi en considération le fait que, aussi bien les sciences que les arts, sont les domaines caractérisés par la quête de la connaissance, la découverte, le défi, la justesse fragile, tout en l'étant de manière très différente. Nous suivrons la proposition, prudente, de Bordron (2011), selon qui, il ne faudrait pas « opposer l'art à la science dans un tableau de traits distinctifs, ni non plus de les subsumer sous une notion qui les unifierait d'une façon trop générale pour être utile, mais [...] chercher quel espace de transformations permet de passer de l'un à l'autre domaine ou éventuellement quels obstacles doivent être contournés pour que ces transformations soient possibles ».

13. La vulgarisation dont nous nous occuperons n'est pas la même que celle qui a fait l'objet des recherches très intéressantes de Daniel Jacobi (1999), c'est-à-dire la presse ou les ouvrages pour enfants, mais au contraire une vulgarisation destinée aux collègues de la même discipline mais pas de la même spécialité, ni du même domaine de recherches.

Les quelques exemples que nous présenterons lors de cette quatrième et dernière section ne concerneront pas seulement l'insertion de l'image artistique dans la littérature de la vulgarisation scientifique mais la question de l'image artistique en tant qu'héritière de théories mathématiques et, vice-versa, de l'image artistique se situant à la source des réflexions du scientifique.

3. Première section

Pratiques d'instanciation : interrogation, stabilisation, institutionnalisation

Dans un important article publié dans la revue *Visible 5* qui recueille les actes des colloques sur la sémiotique de l'image scientifique du programme ANR, Bordron (2009) décrit la production d'images scientifiques en distinguant entre la photo d'enquête et la photo scientifique et propose ensuite de généraliser les étapes d'un processus de production des images constituant un objet scientifique.

Bordron identifie tout d'abord la différence entre l'image d'enquête entendue comme « une somme d'indices pouvant nous conduire peu à peu à ce dont ils sont l'indice » dont il donne comme exemple la photographie au centre du film *Blow up* de M. Antonioni, et la photographie en astrophysique. La démarche qui fait apparaître un revolver dans la photographie au centre du film d'Antonioni est cognitive mais elle ne pourrait pas se prêter à illustrer un usage scientifique de l'image. Cette démarche cognitive, qu'il appelle une « enquête au cours de laquelle, sur la base d'indices, se manifeste peu à peu la présence d'une chose ou d'un phénomène » (*ibid.*, p. 115), n'illustre pourtant pas le fonctionnement scientifique de l'image. L'objet représenté dans la photo de *Blow Up* (un revolver), faisant partie du monde commun de la perception, est déjà identifié avant l'image tandis que l'image scientifique est censée manifester ce qu'il est impensable de percevoir dans le monde de la vie quotidienne, ce qu'on ne connaît pas avant son façonnement en image. Pour que quelque chose qu'on ne connaît pas d'avance se manifeste dans le cadre de l'expérience scientifique il faut « fixer d'abord un *référentiel technique* qui donne la possibilité de l'objet et le sens de ce que l'on verra » (*ibid.*, p. 116). L'image sera l'outil qui permettra au phénomène d'être objectivé, mais il faut tout d'abord un lieu et une manière où ce phénomène puisse faire son apparition (« *avant que l'image n'apparaisse, il faut avoir fixé l'économie de son apparition* » (*ibid.*)), et d'une manière qui puisse être comprise ou au moins encadrée de la juste mesure : c'est le rôle du référentiel.

Bordron décrit ainsi la quête cognitive dans le cas de l'image astronomique, image qui permettra de transformer des indices (en tant que traces qui demandent à être comprises et déployées) en des objets qu'on ne connaissait pas d'avance : *a-* Constitution d'un référentiel (choix d'une longueur d'onde), *b-* Recherche d'indice, *c-* Iconisation (stabilisation progressive des formes), *d-* Identification (ou

dirions-nous, constitution d'un objet en tant que totalité stabilisée et reconnue par une communauté)¹⁴.

Dans ce cas, la référence est littéralement construite grâce à un référentiel technologique qui incarne et stratifie en lui-même un ensemble de théories stabilisées, qui en ont justifié la création et l'institutionnalisation d'une part, et d'hypothèses qui le rendront opérationnel et lui permettront de relancer la recherche, d'autre part. Ces hypothèses « guideront » l'exploration technologique et permettront à des traces matérielles d'apparaître sous un statut d'indices à développer.

Il nous semble que, à partir de ces prémisses, nous pouvons entendre l'indicialité comme « la forme sensible de l'interrogation », l'iconicité comme la recherche d'une stabilisation des formes (Bordron 2000, 2004) — donc, d'une certaine manière, comme des tentatives de donner une organisation la plus stable et profitable possible, aux questionnements posés par l'indicialité — et la symbolicité comme la garantie de positionnement de ces formes stabilisées dans un ensemble de règles, conventions et communications institutionnalisées. Cette conception, où toute image attestée peut être conçue comme une stratification de ces trois dimensions, permet de nous libérer d'une autre conception qui voit l'indice, l'icône et le symbole comme des signes déjà constitués se rapportant à quelque chose d'autre, d'extérieur. En fait, la perspective de Bordron développant la théorie peircienne, envisage plutôt la description de l'instanciation du signe à travers des étapes phénoménologiques : l'indicialité, l'iconicité et la symbolicité sont à comprendre comme des types phénoménologiques. Cette description a l'avantage d'envisager non seulement l'instanciation en termes de production *expérimentale* — l'iconicité concerne en fait la recherche d'une stabilisation des formes, ce qui institue l'image en un support d'expérimentation — mais aussi en termes de négociation de la justesse de l'image identifiant un phénomène et le constituant en objet scientifique reconnu (symbolicité).

En reprenant ces suggestions toujours dans un cadre expérimental classique, à savoir un cadre technologique (et non purement mathématique, comme on le verra dans la section suivante), on peut affirmer que la référence se constitue tout au long d'un processus qui conçoit l'image comme pénétrée par trois dimensions : 1) la dimension indiciale qui prend appui sur des hypothèses et plus généralement sur des questionnements qui mènent à une inscription qu'on peut considérer comme des indices à développer, 2) la dimension iconique qui concerne la recherche d'une

14. Bordron (2009) affirme à ce propos : « L'image n'est pas une image d'objet mais *image de ce qui par elle est fait image*. Il y a donc un changement sémiotique fondamental quant au statut de la vérité. Quel que soit ce que veut dire *vrai*, ce prédicat n'établit pas, dans ce cas, une relation image / objet, mais une relation image / image ». Dans ce même article, Bordron conçoit deux autres types d'image scientifique : celle qu'il appelle l'image-écriture, qui met en jeu une interprétation qui établit que « le centre de gravité de l'image ne se situe plus dans son horizon mais dans l'image considérée comme plan d'expression » (p. 118), et l'image-événement sur laquelle nous reviendrons toute à l'heure.

stabilisation des données à travers des configurations méréologiques diverses sous forme d'image, ou de visualisation, et qui pourront transformer les inscriptions du phénomène en un objet scientifique nommable en tant qu'unité constituée, et 3) la dimension symbolique qui permettrait à chaque image d'être considérée comme le produit négocié d'une pratique productive collective — produit justifiable et reproductible — et ensuite faire l'objet d'une reconnaissance et d'une diffusion institutionnelles.

La dimension symbolique qui est présente à chaque moment de ce processus (sous forme d'hypothèses dans le cadre de l'indicialité, sous forme de règles représentationnelles ajustant les stabilisations des formes dans le cadre de l'iconicité) implique qu'on ne puisse jamais étudier ni comprendre l'image détachée d'un programme disciplinaire ou des acquis d'un domaine spécifique.

La symbolicité permet par conséquent de prendre en compte à la fin (provisoire) du processus : a) comment une image répond aux objectifs de sa production, en stricte relation avec l'indicialité; b) comment elle s'insère dans les pratiques expérimentales d'une discipline, en stricte relation avec l'iconicité; c) comment ces pratiques disciplinaires se combinent avec celles des autres équipes plus ou moins concurrentielles, avec les institutions, le cadre politique, etc.¹⁵.

Cela nous permet enfin de remarquer que l'indicialité peut être considérée comme quelque chose qui ne concerne pas seulement l'acte d'instanciation des images, ce dernier étant entendu souvent en tant qu'acte d'inscription d'un phénomène sur un support qui est censé en enregistrer les traces. L'indicialité concerne les demandes d'une discipline et donc les raisons d'être d'une image, le fait qu'une image soit nécessaire pour démontrer quelque chose, ou pour l'invalider; dans ce sens l'indicialité est déjà imprégnée d'une symbolicité, à savoir d'un savoir constitué qui demande à être développé dans d'autres cadres ou domaines. C'est seulement dans la dimension de la symbolicité que l'image peut être évaluée à partir de ses utilisations et à partir de la place qu'elle peut assumer dans un système d'attentes et de résultats comparables avec lesquels de nouveaux indices peuvent rentrer en relation. Si donc l'indicialité concerne les traces de l'instanciation ainsi que les raisons qui l'ont rendue nécessaire ou simplement possible, et l'iconicité concerne la stabilisation de formes en des images identifiant, par tentatives successives, des objets (expérimentation par diagrammes), la symbolicité concerne la place que ces formes stabilisées en images d'objet occupent dans un ensemble de pratiques disciplinaires et de procédures institutionnalisées.

D'une certaine façon on pourrait dire que le parcours de l'*objet recherché en tant que questionnement* jusqu'à l'*objet scientifique en tant que totalité acceptée* — au moins par une partie de la communauté scientifique — se déploie à partir d'une indicialisation en se dirigeant vers une symbolisation. Ce qui nous intéresse surtout de souligner est ce qui se passe entre les deux, à savoir la *constitution*

15. Sur cette question voir les travaux fondamentaux en sociologie des sciences de Latour (1987, 1999) et Latour et Woolgar (1979).

iconique; comme nous venons de le dire, nous entendons par iconicité les moments multiples des *tests* qui visent à négocier et stabiliser des formes visuelles plus ou moins définitives d'un objet scientifique. Nous le répétons : nous n'entendons pas les images-tests en tant que signes iconiques au sens de ressemblant à quelque chose d'extérieur, mais en tant que compositions toujours partielles qui rendent compte de l'émergence de morphologies différentes dans l'organisation des données tout au long d'une chaîne¹⁶ qui peut s'orienter de la schématisation à la densité figurative lorsque la visée de la recherche est particularisante (décrire un objet, un symptôme, et pouvoir intervenir) ou bien s'orienter de la densité figurative à la schématisation lorsque la visée est généralisante (construction de régularités, prévision, modélisation, etc.). Le processus d'iconisation peut donc être identifié avec deux processus inverses : le processus d'iconisation peut concerner un parcours allant de la schématisation à la densité figurative et vice-versa. Il peut s'agir d'un processus de schématisation si on part d'une densité figurative (par exemple une photo ou un dessin) en allant vers la construction de patterns et de régularités qui permettront une modélisation valorisant des parcours réguliers et des tendances qui constitueront des théorisations à vérifier ultérieurement. Mais le parcours d'iconisation peut être identifié aussi bien avec un processus inverse qui va des modèles mathématiques vers la densification figurative, comme par exemple dans le cas où les indicialisations sont des modèles physiques qui peuvent ou pas s'accorder avec le phénomène étudié et qui deviennent opératoires à travers la visualisation, par exemple à travers la visualisation diagrammatique. Dans le cadre d'un processus d'iconisation, les images qui testent un phénomène deviennent un terrain de travail, voire un dispositif d'expérimentation. Ces tests se configurent comme des nouvelles organisations et regroupements des informations, des constructions de symétries, etc.

Les indicialisations de départ peuvent donc être des traces de phénomènes, à savoir des données récoltées et qui demandent à être testées et généralisées, aussi bien que des hypothèses et des théories qui doivent être mises à l'épreuve et vérifiées par des *cas concrets ou au moins visualisables comme des cas singuliers*. L'indicialisation est à concevoir comme quelque chose qui demande à être déployé et cela ne s'explique pas seulement avec un « questionnement de l'être » qui cherche à se manifester, mais englobe aussi la matière théorique des résultats scientifiques obtenus précédemment (ce qu'on a nommé la dimension de la stabilisation institutionnelle, voire la symbolité). La symbolisation qui en suivra concernera le moment de l'acceptation, vérification et institutionnalisation de ces hypothèses de départ, qui avaient auparavant le statut d'indices et précédemment encore de théories stabilisées.

16. Sur la constitution de la chaîne tout au long de laquelle il y a « un transport de nécessité » voir Latour (1999) et Dondero (2009d). Pour une modélisation des différents types d'enchaînement d'images voir Fontanille (2009).

3.1. La méréologisation des données dans le cadre de l'iconicité

Dans un article consacré à la constitution de méréologies changeantes à partir du flux de l'expérience, Bordron (2012) spécifie ce qu'il entend par image-événement dont il avait été question déjà dans son article de 2009 : il ne s'agit pas de la capture instantanée de quelque chose — comme le terme événement pourrait le faire croire —, mais bien de transformations de données tout au long du processus d'iconisation : les images interviennent dans le flux de l'expérience scientifique en tant qu'*idées régulatrices ordonnant un nombre très grand de phénomènes*. Dans le flux de l'expérience, des totalités se constituent, pourtant elles sont des totalités précaires, tentatives, qui se font et se défont, mais n'en sont pas moins intelligibles comme un jeu entre des parties, identifiables bien que changeantes. On peut donc entendre les images comme des stabilisations précaires des relations entre parties constituant le flux de la recherche expérimentale; ce processus est décrit par Bordron par la syntaxe suivante : « Flux => Inflexion => Parties saillantes => Identification et différenciation => Conjonction et disjonction => Composition et décomposition de parties => Emergence et disparition des genres => Formation et déformation de séries ».

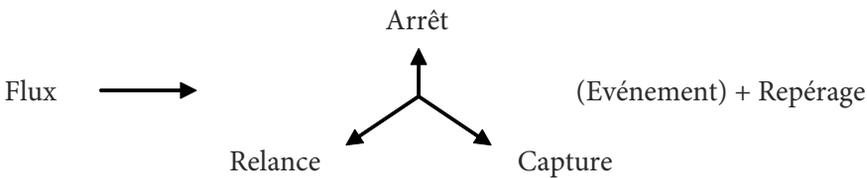
Cette syntaxe vise à rendre compte de la façon dont, à partir des processus des phénomènes physiques, le scientifique peut en arrêter des états pour les représenter et les analyser¹⁷. L'image est à concevoir comme une domestication du flux des phénomènes, un arrêt qui en permet le contrôle et ensuite la manipulation pour enfin essayer de les constituer en des objets. Si la notion de flux virtualise toute existence d'objet, la première catégorie nécessaire à expliquer le statut de l'image est celle d'arrêt d'un flux¹⁸ mais cet arrêt n'est qu'une étape qui fait suivre, selon Bordron, une *relance* ou une diffraction :

17. Fontanille aussi se pose la question de la réduction d'un flux en des « arrêts » qui puissent le rendre décomposable et contrôlable et décrit ce phénomène comme concernant deux niveaux de pertinence sémiotique différents : « En somme, ce qui est invisible à un niveau donné d'exploration correspond dans la plupart des cas [...] à un phénomène de type "fluent", une propriété dynamique ou un processus, et c'est seulement à un *autre niveau d'exploration* que ce processus ou ce phénomène fluent pourra être identifié sous la forme d'un objet ou d'une substance : l'activité neuronale correspondra par exemple à une densité plus importante de protéine mitochondriale. Mais il y a une limite à cette stratification des niveaux, et c'est celle du monde quantique [...]. Il y a donc deux types d'invisible, l'un de proportion (grand / petit), et l'autre de mode d'existence (processuel / substantiel). Il y a donc deux types d'exploration : l'une, par modification de la proportion, l'autre, par changement de mode d'existence. Les deux recherchent le niveau d'exploration optimal en vue d'une iconisation exploitable; le premier type procède donc par optimisation du point de vue (le grossissement change la distance et la focale), alors que le second type recherche tout simplement *le niveau d'exploration où le phénomène se manifeste en tant que substance et non en tant que processus* » (Fontanille 2007, p. 23, nous soulignons).

18. « Une *image-arrêt* est, par exemple, celle qui pose une question non pas parce qu'elle montre spécifiquement quelque entité, mais parce qu'elle établit une rupture avec une croyance ou une pratique antérieure sans que le sens en soit pour autant spécifié » (Bordron, 2012).

La relance crée une multiplicité nouvelle que l'on peut considérer à la fois comme divergente par rapport à l'arrêt et en même temps nécessairement complémentaire. Un arrêt dans un flux a comme complémentaire un effet de relance, sinon il ne s'agirait pas d'un flux. [...] La troisième catégorie est celle de *capture*. [...] La capture est complémentaire de l'arrêt et de la relance dans la mesure où il est nécessaire que quelque chose du flux soit en quelque façon concentré, constitué en unité (Bordron, 2012).

Bordron ajoute à ces trois fonctions, une quatrième, celle qu'on avait déjà prise en considération pour l'image-horizon, c'est-à-dire le référentiel ou le *repérage*, et propose le schéma suivant :



Comme nous l'avons déjà dit ailleurs (Dondero 2011b), l'image qui fige un objet et qui a été obtenue après la phase d'iconisation, nie d'une certaine façon l'esprit scientifique de la recherche : figée et immobile, sans paramètres de contrôle visibles, cette image est destinée à la vulgarisation. Ces images sont en principe non manipulables : les tests ne sont plus affichés, ni opératifs. On pourrait dire qu'une fois dans la phase de symbolisation l'objet, qui est représenté par une image isolée dans laquelle convergent et s'institutionnalisent les hypothèses et les résultats des tests, quitte le domaine de la science, qui se caractérise par contre comme le domaine des constantes interrogations et manipulations. C'est pour cela que, s'il s'agit de symbolisation, dans le cadre de la science, il s'agit toujours de règles qui seront ensuite remises en jeu en fonctionnant à nouveau partiellement comme des questionnements, à savoir des indicialisations à développer pour d'autres recherches. Dans le cadre de la vulgarisation, le parcours allant de la symbolisation à l'indicialisation s'arrête, à l'opposé de ce qui se passe dans la science en acte où, à partir des objets constitués dans le cadre d'une symbolisation, on relance des questionnements/indicialisations pour reprendre le chemin et « étendre le référent », comme le dirait Latour.

Comme nous l'avons affirmé dans des travaux antérieurs (Dondero 2009d), les images, après leur instanciation, et après avoir été choisies pour constituer une unité d'objet, doivent redevenir utiles pour d'autres recherches : d'une certaine manière elles doivent être à nouveau décomposées, non pas pour redevenir flux, mais pour pouvoir revenir aux étapes qui ont amené aux différentes méréologisations des données, aux différentes relations entre parties constituant le tout ; les données constituées en différentes méréologies doivent pouvoir redevenir manipulables et réorganisables.

Dans Dondero (2009d) nous avons pris en considération le cas de l'astrophysique qui exemplifie bien ce mouvement double ; en fait la fabrication d'images en astrophysique nous montre bien le va-et-vient entre la visée particularisante et la visée généralisante des visualisations : d'une part, l'objectif de l'astrophysique est de présenter en unité, voire de *compacter*, par le biais de l'image justement, des fonctionnements *dispersés* dans le temps et dans l'espace ; d'autre part, cette unité est composée de modules : chaque module est une réponse du phénomène, par exemple, la supernova, à la longueur d'onde avec laquelle il a été détecté. Les différents modules composent des images finales, intégrées : voici l'image finale d'un amas de galaxies ainsi que les modules dont elle se compose (Figure 1).

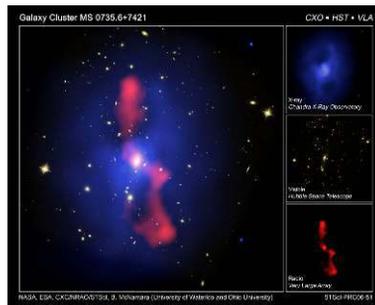


Fig. 1. Galaxy Cluster MS 0735.6+7421. NASA, ESA, CXO/NRAO/STScI, B. McNamara (University of Waterloo and Ohio University)
<http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/2006/51/images/a/formats/print.jpg>

Les images en astrophysique visent à sommer, superposer, intégrer — phagocyter presque — les traces, bref à réduire l'hétérogénéité des captations dans une seule image comme dans l'exemple ci-dessus, qui montre la façon dont l'image finale intègre les images provenant des différentes détections afin de stabiliser l'identité d'un objet. Tout se passe comme si les images partielles visaient à compacter dans l'image finale ce qui dans l'univers est dispersé — 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*¹⁹.

19. Cette image a en fait comme but de *compacter* les processus différents de l'univers en une *cartographie qui totalise et intègre les processus temporels*. Comme nous l'avons dit dans (Dondero 2009b) où nous avons mis en comparaison l'astrophysique et l'archéologie, en archéologie, les images-cartographies ne visent point à l'intégration des traces, ni à devenir des images-modèle pour une série d'autres investigations : tout au contraire, elles mettent en scène l'hétérogénéité des méthodes de recherche, ainsi que leur impossibilité de se recomposer en unité. L'astrophysique et l'archéologie présentent donc deux types différents de virtualité de l'objet de la perception : l'objet de l'astronomie est absent à nos sens, caché, parce qu'il est trop diffus et lointain, distal, alors que l'objet archéologique est caché parce que sa stratification est trop compacte. Il s'ensuit qu'en astrophysique les images actualisent l'objet par des *assimilations qui compactent l'évanescant*,

Pour obtenir cette image qui nous donne l'iconographie finale d'un amas de galaxies, il a fallu un travail orienté du simple au composé, mais d'autre part, cette *totalité intégrée* qui est l'image finale doit pouvoir être littéralement *redistribuée* via une autonomisation de ses modules pour qu'ils puissent être utilisables pour la constitution d'iconographies autre que celle de cet amas de galaxies. Il s'agit de réaménager les modules qui ont, de leur côté, une certaine cohérence interne et une *homogénéité de paramétrage* (ici, la même longueur d'onde) pour voir s'ils sont aptes à construire d'autres iconographies, et ensuite, pourrait-on dire, à « faire avancer le référent » (Latour 1999), à étendre sa chaîne de transformations, et aussi à mettre à l'épreuve l'utilisation transversale de chaque module. Pour ce faire il faut, d'une part, *discipliner* les opérateurs de la chaîne des transformations et les aligner de façon à ce qu'ils forment une unité, pour que la chaîne puisse se constituer en une unité stable (iconicité) et produire un objet stable (symbolicité), d'autre part il faut mesurer le pouvoir d'extension du référent que la visualisation offre à la science, à savoir le fait que cette unité d'objet stabilisée en image peut servir comme support pour d'autres investigations. Or, il faut que cette unité puisse se décomposer en des sous-unités ré-articulables, en des modules (ou parties d'un tout, comme les appelle Bordron), et que ces modules puissent devenir des éléments re-combinables : éprouver la solidité d'un fait, c'est le mettre à l'épreuve et l'étendre plus loin par un nouveau branchement de ces modules. Les possibles combinaisons entre les modules et les règles qui les gèrent peuvent se constituer en un système comparable à une grammaire. D'un côté, la bonne réussite de la chaîne des transformations assure une garantie de contrôle réciproque entre phases techniques, et donc la garantie d'une histoire de production par contiguïté (indicialité) et par commensurabilités (iconicité), de l'autre, le résultat de cette chaîne des transformations doit assurer des développements des recherches (symbolicité et recommencement du parcours à travers l'indicialité).

Dans l'image finale de l'amas de galaxie, les éléments sont intriqués et c'est justement la modularité typique de l'astrophysique qui permet à l'unité de l'image finale d'extraire ses modules et de les transporter au loin, vers d'autres compositions, grâce aux règles grammaticales des modules, ces derniers étant des entités recombinaisons à l'instar de notes dans une partition de musique qui doivent servir comme des *instructions* pour l'exécution future, qu'elle soit visuelle ou sonore. Cela revient à dire que le travail scientifique consiste bien, dans un premier temps, en la recherche de la stabilisation *en unité d'objet* et, ensuite, dans un deuxième temps, en la *manipulation* de cette unité, voire en la *recombinaison, ré-articulation* de ses modules, pour la faire « courir au loin » (Latour), pour construire d'autres unités

à travers des plaques/modules commensurables du spectre; alors qu'en archéologie les images fonctionnent par dissimulation de ce qu'elles actualisent, c'est-à-dire par *dissimulation 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.

et d'autres référents. En astrophysique, comme dans beaucoup d'autres disciplines, plus une référence va *loin*, plus elle peut être déclarée comme « juste » : la fiabilité de la référence est coextensive du réseau de diffusion, voire de sa plasticité.

La nécessité d'une modularité s'explique aussi par le fait que la chaîne des transformations, qui vise à une stabilisation, doit pouvoir être réversible, les scientifiques doivent pouvoir revenir sur leurs pas : c'est une communauté entière qui doit pouvoir manipuler la chaîne dans toutes ses étapes. C'est pour cette raison qu'il faut constituer une écriture, une sorte d'*alphabet d'opérations* paramétrées, pour que ceux qui font partie de la communauté puissent poursuivre la chaîne, la renverser, la refaire, la contrôler, la valider.

Pour le dire autrement et avec les termes de Goodman, les images doivent permettre premièrement d'identifier et de fixer des phénomènes (autographie) et surtout de les définir en tant qu'objets dont on peut discuter, et deuxièmement de travailler sur ces objets eux-mêmes, ces derniers devant servir comme des *expériences de pensée*, voire comme des objets qui se prêtent à la manipulation (allographie). Les images réussies deviennent ainsi des supports de travail, dans le sens où elles sont non seulement des visualisations d'opérations qui rendent possible la définition de phénomènes (*valeurs opératives* d'une image), mais où elles fonctionnent aussi comme des visualisations qui permettent d'être retravaillées et manipulées pour des fins ultérieures (*valeurs opérationnelles* d'une image)²⁰. De l'image comme *produit stabilisé* des transformations on passe au *potentiel transformationnel*, c'est-à-dire de l'image comme *zone de stockage* on passe à une *zone d'opérabilité* et de manipulation.

Il faut en tout cas préciser encore quelque chose avant de passer à la deuxième section qui prendra en considération la question de la manipulation mathématique de l'image ainsi que la traduction spatiale des formules algébriques. Il ne faudrait pas utiliser le même terme d'image lorsqu'on se réfère à l'image constituant un objet (l'image qui offre la sommation des résultats d'autres images) et l'image qui ne constitue pas un objet mais qui est censée montrer le travail de digitalisation d'un flux à travers des organisations méréologiques. En ce qui concerne l'astrophysique nous les avons appelées respectivement image-mosaïque et visualisation.

En fait, les images finales des astres peuvent être considérées comme des images-mosaïques (Dondero 2009b et 2009g) car elles réunissent en une image un assemblage de traces provenant de différentes sources et stratégies de mesure qui sont rendues commensurables en des unités d'objet qui en font la synthèse. Ces types d'images ont pour fonction de rassembler les diverses captations obtenues et de s'offrir ainsi comme des cartes d'identité des astres, des cartes qui ne sont pas des photographies de ce que l'objet est au moment de la captation, mais de son histoire car elle est une mosaïque construite par *sommation intégrée* des processus de transformation de l'astre. Ces images sont composées par des visualisations « partielles » des astres, images qui dépendent d'un seul instrument de détection.

20. Sur la distinction entre opératif et opérationnel voir Basso Fossali (2006b).

L'image-mosaïque peut être saisie comme *la transduction de plusieurs scénarisations* (les différentes détections selon des longueurs d'onde différentes). La clôture de cette image intégrée se présente comme la *prestation fictive* d'une observation potentiellement interminable qui permet une *domestication* de l'investigation et l'institutionnalisation d'un objet.

Ces images-mosaïques construisant une iconographie stabilisée d'un objet, tendent vers le régime caractérisant les images artistiques où chaque trait est figé à l'intérieur d'une totalité non décomposable. Si le rôle de l'image dans l'article de recherche est de mettre en valeur l'instrument (ou les valeurs mathématiques) qui l'ont produite, cette image par contre ne montre plus la relation avec son acte de production : *en perdant sa justification énonciative*, elle se rapproche du rôle des images artistiques, qui ne sont pas censées révéler leurs techniques d'instanciation. Elle devient une image non-scientifique, car elle a figé quelque chose ne permettant plus des manipulations et donc des avancements de l'investigation. On pourrait par conséquent affirmer que l'image qui stabilise une iconographie est publiée notamment dans les ouvrages de vulgarisation et fonctionne à l'instar des images artistiques, qui sont non-manipulables.

Le deuxième type de représentation visuelle relève des *visualisations* de données. Ces données sont des *data set* disponibles par implémentation informatique utilisables dans un nombre infini de textualisations selon différents points de vue et niveaux de pertinence. Ces visualisations deviennent ainsi reconfigurables à partir d'un changement contrôlé des paramètres de visualisation, changement de perspective visant l'exploration. Il ne s'agit donc plus d'images, mais d'*environnements virtuels* qui produisent à chaque fois des modes d'actualisation possibles de données.

Ces visualisations rendent en fait pertinents des regroupements de données qui peuvent répondre à des questionnements différents. Chaque visualisation de données répond à une série de questions ; les visualisations peuvent être comprises comme des *exécutions* des relations entre données récoltées et paramétrages choisis. Les visualisations sont donc *des exécutions d'instructions* de codages de données. Elles se présentent normalement sur un écran d'ordinateur en un rapport paradigmatique les unes avec les autres et, très rarement, elles sont enchaînées comme développement l'une de l'autre : elles construisent une parataxe. D'une certaine manière elles ne font qu'actualiser des organisations méréologiques de données qui restaient virtuelles dans le tableau de chiffres dont elles émanent. C'est pourquoi nous devons distinguer ces visualisations qui "arrangent" et filtrent des données de manière toujours différente selon le besoin de l'investigation, des images qui par contre identifient un objet et l'instituent en une unité où chaque partie a un lien figé avec toutes les autres et avec la totalité constituée.

C'est ce qu'on verra dans la deuxième section.

4. Deuxième section :

Du diagramme entre mathématiques et visualisation

Explorer la relation entre les langages analogues, comme l'image, et les langages digitaux, comme les mathématiques, s'est révélé vite d'une extrême importance dès les premières réflexions sur l'image scientifique faites dans le cadre de cette recherche collective en sémiotique. Si le langage formel des mathématiques est le langage de la démonstration par excellence, on a dû se demander si l'image par contre devait renoncer à toute ambition démonstrative à cause de la difficulté de repérer en elle des éléments minimaux, des traits disjoints, des règles syntaxiques qui la rendent également puissante face à une manipulabilité de ses signes comme cela est attendu surtout dans le cadre des sciences. Au premier abord, ce qui manquerait à l'image serait un alphabet de signes, à savoir des traits disjoints et recomposables qui peuvent être composés à travers des règles grammaticales qui en définissent les interdictions et les permissions. Comme on le verra dans les prochaines pages, nous avons, dans plusieurs travaux précédents, essayé de rendre compte de cette question à travers les notions d'autographie et d'allographie, ainsi que de diagramme selon la conception du philosophe Nelson Goodman, qui deviennent des concepts opérationnels et acquièrent un pouvoir descriptif. Avant de revenir sur Goodman et sur nos travaux, nous préférons esquisser l'approche de la notion de diagramme de Ch.S. Peirce qui, à partir de ses bases mathématiques, devient un concept totalisant, le diagramme étant pour lui l'instrument majeur de toute pensée déductive et nécessaire. Nous voudrions ici esquisser la façon dont le fonctionnement du diagramme mathématique peut devenir exemplaire d'un dispositif nécessaire au déploiement de la pensée déductive, et ensuite la façon dont une image peut être conçue comme le support d'un raisonnement nécessaire. Nous pourrons ensuite expliquer notre conviction : que les images en science peuvent et, dans certains cas, doivent, fonctionner comme des diagrammes.

Voyons ce que nous pouvons entendre par diagramme.

Nous aimerions toute de suite préciser qu'il ne faut pas entendre banalement diagramme comme un synonyme de schéma ou de graphique, à savoir comme un dispositif caractérisé par des flèches, des symboles, des chiffres, des axes cartésiens, etc. Cette perspective très large — dans les faits, inutile et trompeuse — engloberait toutes les visualisations caractérisées par une certaine organisation topologique, mais sans rendre compte des raisons profondes qui rendent nécessaire l'utilisation de ce dispositif. De plus, cette conception qui ne prend en compte qu'un type d'organisation topologique et se base donc sur une typologie du plan de l'expression — et non pas sur la relation entre expression et contenu, à savoir sur une médiation sémiotique —, exclurait les images par exemple, ce qui va contre la notion peircienne de l'iconicité. Cette définition ne prendrait pas en compte le fait que par exemple des photographies peuvent, dans certains cas, fonctionner diagrammatiquement : Peirce inclut dans la catégorie des icônes aussi bien les formules algébriques que les *photographies composites*. On y reviendra.

Donc, plutôt que d'identifier le diagramme avec une certaine forme visuelle il nous faut revenir à la tradition de la pensée sémiotique peircienne concernant la notion d'icône abstraite qui recouvre des phénomènes très divers sur le plan de l'expression mais liés, comme on l'a dit tout à l'heure, par des fonctionnements apparentés. Pour ce faire il nous semble utile de voir comment la notion de diagramme s'est constituée en allant à ses sources.

La pensée diagrammatique vise d'une certaine manière à poursuivre la question posée par le schématisme et le synthétique a priori kantien. Si, chez Kant²¹, le schématisme visait résoudre la dualité entre *intuition* (représentations singulières) et *concept* (représentations générales), chez Peirce l'utilisation du diagramme, à partir donc d'un point de vue sémiotique (au sens où l'on pense par des signes concrets) et pragmatiste, vise à résoudre la *dualité singularité-généralité* et celle *observabilité-imagination* en les repensant non pas comme opposés mais comme une bipolarité qui fait la caractéristique principale du diagramme. En ce qui concerne la première polarité, Peirce affirme :

Un diagramme, en mon sens, est en premier lieu un *Token* ou un objet singulier utilisé comme signe; car il est essentiel qu'il puisse être perçu et observé. Il est néanmoins ce qu'on appelle un signe général, c'est-à-dire qu'il dénote un Objet général. Il est en fait construit dans cette intention²² et il représente ainsi un Objet dans cette intention. Or l'Objet d'une intention, d'un but, d'un désir, est toujours général (Peirce, cité dans Chauviré 2008, p. 51).

D'une certaine manière le diagramme serait donc scindé en deux : un diagramme en tant que *Token* singulier, et un diagramme qui donne les règles de lecture pour comprendre ce *Token* comme un *Type*.

En ce qui concerne la deuxième polarité, comme l'affirme Chauviré, pour Peirce :

toute déduction procède par construction de diagrammes, c'est-à-dire de signes appartenant à la classe des icônes, qui exhibent des relations existant entre les parties d'un état de chose (*state of thing*) idéal et *hypothétique, imaginé* par le mathématicien et susceptible d'être *observé* (Chauviré 2008, p. 36, nous soulignons)²³.

21. Pour une discussion approfondie sur la relation de Peirce avec le schématisme kantien voir l'important ouvrage de Chauviré (2008).

22. Stjernfelt (2007) nous rappelle qu'il faut garder la distinction entre les diagrammes proprement dit, à savoir les diagrammes construits avec l'intention explicite de l'expérimentation et programmés pour des transformations suivant une précise syntaxe de transformation d'une part et la classe des diagrammes généralement informatifs d'autre part. Le fonctionnement principal du diagramme, qui le rend susceptible de transformations réglées afin de révéler des nouvelles informations, est ce qui le positionne à la base du *Gedankenexperimente* et qui lui donne une extension heuristique qui s'étend de la vie quotidienne à l'invention scientifique.

23. Comme l'affirme Stjernfelt (2007), en suivant Peirce (1906) : « Les relations qui constituent le diagramme sont à la fois observationnelles et universelles et produisent la condition de possibilité du diagramme d'exister en tant qu'icône (observabilité) par rapport à ce qui est possible de considérer comme des expériences généralement valides (universalité) ».

Le diagramme aurait justement une double détermination : il serait enraciné dans l'évidence perceptives et en même temps il serait généralisable. Mais ce qu'il est important de remarquer est qu'à partir de Peirce on développe l'idée que le diagramme ne concerne pas une représentation visuelle en soi, à savoir quelque chose d'isolable et d'objectif, mais plutôt un type de *procédure de raisonnement*, et donc une manière spécifique de schématiser visuellement la perception et l'expérience pour les rendre *transposables*. Ce processus diagrammatique permettrait de reconnaître, dans un phénomène donné, des relations entre ses parties, qui peuvent être observées et manipulées pour comprendre d'autres phénomènes. Le diagramme est un monde clos mais permettant l'extensibilité de la preuve²⁴.

Nous ne pourrions pas parcourir à nouveau dans son entier ce processus qui porte de la notion de diagramme entendu comme représentation visuelle objectivée et isolable jusqu'à la notion portant sur une conduite de la pensée qui exploite le côté *opérationnel* de l'iconicité, mais ce que nous voudrions retenir est que la notion de diagrammaticité rend précisément compte de l'articulation entre *la visualisation et la transformation des relations entre les parties qui composent un objet d'une part et les étapes d'un processus de la pensée visant à connaître mieux l'objet visé — grâce à cette visualisation manipulable justement — de l'autre*.

Pour être encore plus précis, on pourrait dire que la notion de diagramme permettrait de rendre compte du *processus exploratoire de la pensée* sur un objet qui est rendu saisissable à travers la *construction, l'observation et la manipulation eidétique d'une visualisation*²⁵. Le raisonnement diagrammatique pourrait se

24. Il a été remarqué, en ce qui concerne la géométrie fondamentale, que le diagramme fonctionne de manière très différente du plan urbain par exemple ; comme lui, il indexe quelque chose : là il y a une bibliothèque, là il y a un angle obtus. Mais le plan n'ambitionne pas de promouvoir des inférences spatiales sur d'autres villes dont il n'est pas la carte. Par contre, un diagramme qui représente un triangle rectangle dans une démonstration du théorème de Pythagore ambitionne de concerner tous les autres rectangles parce qu'il représente un triangle « générique », c'est-à-dire une règle de construction (voir Giardino & Piazza 2008). Il a été observé que la somme des angles internes d'un triangle est de 180° , où « l'article indéterminatif ne concerne pas une lecture *de re* (triangle spécifique), mais il reçoit automatiquement une lecture *de dicto* (triangle générique), lecture fondée formellement par un quantificateur universel » (*Ibid.*, p. 92). Il s'agit du résultat de la rencontre entre « les propriétés nécessairement particulières d'un diagramme et la validité générale du théorème qui résulte de la démonstration qui utilise ce diagramme » (*Ibid.*, p. 90). Giardino et Piazza expliquent ce caractère général du théorème par une « invariance pratique » et par une répétition que le diagramme permet d'effectuer : « La démonstration concerne en fait une classe générale d'objets, dans la mesure où elle peut être facilement répétée pour des objets géométriques qui en satisfont les mêmes conditions. Bref, la généralité géométrique consiste en la certitude que des constructions particulières peuvent être répétées : la généralité consiste en une invariance *pratique* » (*Ibid.*, p. 93, nous traduisons).

25. Dans l'interprétation de Stjernfelt, l'icône chez Peirce a une définition opérationnelle : l'icône est un signe qui peut être manipulé afin d'apprendre davantage sur son objet, qui d'ailleurs est explicitement présent dans le signe lui-même. Selon le savant danois, le même type de relation caractérise l'idée de Husserl que, pour saisir les objets idéaux, il faut procéder à une déformation continue de l'objet par des « variations éidétiques ».

comprendre en somme comme l'observation et la transformation des relations qui composent les parties d'un objet d'investigation, la manipulation du visible permettant ainsi un certain élargissement du concevable²⁶.

La diagrammaticité est définissable enfin comme une manière de bénéficier des *ressources cognitives de la plasticité spatiale, voire de la manipulabilité et de la déformabilité rationnelle des visualisations*. Elle opère comme un « flat laboratory », comme le dirait Latour (2008), où la réalité, et la réalité mathématique notamment, peut être comprise et transformée.

4.1. *Le diagramme et l'émergence des formes*

Pour expliquer de manière plus précise le fonctionnement diagrammatique qui peut concerner des photographies, des formules algébriques, des diagrammes proprement géométriques, etc. nous avons besoin de revenir à présent à l'origine mathématique du diagramme.

L'expérimentation offerte par le diagramme est, selon Peirce, ce qui distingue la procédure déductive théorématique du raisonnement corollaire, ce dernier ne concernant que des inférences purement analytiques, donc appartenant à la logique et non pas à l'épistémique. Comme l'affirme Chauviré (2008) en délinéant la différence entre théorématique et corollaire :

deux cas peuvent se présenter : soit la conclusion est directement lue dans le diagramme initial par simple inspection, c'est-à-dire que les relations qui rendent possibles la conclusion sont immédiatement perçues sans qu'on doive retoucher le diagramme [corollaire]; soit il est nécessaire de le modifier par des constructions supplémentaires [théorématique] [...]. L'adjonction de telles constructions est dépeinte comme une *expérimentation effectuée sur le diagramme, analogue à celle pratiquée en physique et en chimie sur un échantillon* (p. 36, nous soulignons).

L'expérimentation en mathématiques passe par la traduction spatiale des grandeurs spatiales et non spatiales (relations logiques, etc.) et par l'introduction de « lignes subsidiaires » aux lignes du dessin qui suivent fidèlement les prémisses. Ces lignes subsidiaires permettront d'introduire des idées nouvelles car elles rendent saisissables des nouvelles formes qui n'étaient que latentes. Cette adjonction est faite par des règles et permet de *voir des formes ressortir de la constitution d'une totalité* :

...Le *Grundsatz* de la Rhétorique formelle est qu'une idée doit se présenter sous une *forme unitaire, totalisante et systématique*. C'est pourquoi maints diagrammes qu'une multitude de lignes rend compliqués et inintelligibles deviennent instantanément clairs et simples si on leur ajoute des lignes; ces

26. Voir à ce propos Châtelet (1993). Selon lui, c'est la gestualité qui nous permet d'opérer, de manipuler, de penser et d'« amplifier l'intuition ». Cette notion d'amplification de l'intuition est intéressante, parce que c'est *une amplification qui se fait par condensation*. L'amplification des relations est possible grâce à la condensation dans une image permettant de *voir ensemble* ces relations se constituant en une forme émergente.

lignes supplémentaires étant de nature à montrer que les premières qui étaient présentes n'étaient que les parties d'un *système unitaire* (Peirce, 1931–1935, 2.55, nous soulignons).

Comme on le voit très clairement à partir de ces affirmations peirciennes, ce ne sont pas les déductions de la logique ni les seuls concepts qui ont le pouvoir de démontrer²⁷ : pour qu'il y ait démonstration, il faut que des formes émergent. Chez Peirce, seules les icônes ont le pouvoir d'exhiber une nécessité, un devoir être²⁸ parce qu'elles seules peuvent montrer l'*émergence* des formes à partir de lignes qui pourraient apparaître comme désordonnées et insignifiantes. Selon la pensée peircienne, les icônes sont les seuls signes capables d'exhiber une nécessité car ils rendent sensibles les relations entre des lignes par des formes, à savoir par des traits et des relations de traits qui se composent et qui apparaissent comme constituant des unités.

Ce sont ces formes qui rendent perceptivement évidente la nécessité des conclusions et c'est pour cela que Peirce a toujours rapproché la contrainte exercée sur nous par une perception ordinaire et les conclusions mathématiques qui s'imposent à nous comme nécessaires : elles sont toutes les deux caractérisées par l'émergence de configurations qui *ne peuvent qu'être comme elles sont*. Pour Peirce en fait la vérité perceptive est aussi *irrésistible* que la vérité mathématique :

Cette contrainte irrésistible du jugement de perception est précisément ce qui constitue la force contraignante de la démonstration mathématique. On peut s'étonner que je range la démonstration mathématique parmi les choses qui relèvent d'une contrainte non rationnelle. Mais la vérité est que le nœud de toute preuve mathématique consiste précisément dans un jugement à tout égard semblable au jugement de perception, à ceci près qu'au lieu de se référer au percept que nous impose la perception, il se réfère à une création de notre imagination (Peirce, 1931–1935, 7.659).

Comme on l'a déjà esquissé toute à l'heure, les formules algébriques, bien qu'elles soient constituées de symboles, c'est-à-dire de signes généraux qui ne se rapportent à leur objet qu'en vertu de conventions arbitraires, fonctionnent comme des icônes parce que *c'est la constitution de formes qui leur offre une structure unitaire et perceptivement saisissable de la totalité des relations entre ces signes généraux eux-mêmes*²⁹.

Ce que nous voulons suggérer par cet excursus dans la théorie du diagramme est que tout support, dans notre cas visuel, qui devient un support de travail et d'expérimentation de ce type devrait pouvoir être interprété comme un dispositif qui fonctionne diagrammatiquement.

27. « Il ne suffit pas d'énoncer les relations, il est nécessaire de les exhiber effectivement ou de les représenter par des signes dont les parties ont des relations analogues à celles-ci » (Peirce, cité dans Chauviré 2008, p. 48). Sur la relation entre énoncer et exhiber voir Colas-Blaise (2011b).

28. Voir à ce propos Peirce (1931–1935, 4.532).

29. Cette constitution de formes qui font apparaître une « solution » et une conclusion nécessaire ont été développées par la théorie de l'iconicité en tant que méréologie chez Bordron (2004, 2010).

Ch.S. Peirce identifie en fait des fonctionnements semblables entre des objets visuellement très différents comme une formule algébrique et une photographie (ou plus précisément, *deux* photographies). Peirce englobait en fait dans la même catégorie d'icône — et, plus précisément, des icônes les plus abstraites —, aussi bien les formules algébriques que les photographies. Nous disons bien photographies au pluriel et non pas photographie au singulier, cette dernière n'ayant pas beaucoup d'intérêt pour Peirce ni d'un point de vue scientifique ni du point de vue de l'exemplification de la catégorie de l'icône. C'est en fait *au moins deux photographies* qui « servent à tracer une carte », ou bien une image moyenne (*composite photograph*) produite par une composition méthodiquement organisée de plusieurs images, qui peuvent être entendues selon la conception peircienne des icônes³⁰ les plus abstraites, les diagrammes, à savoir des représentations qui mettent en scène l'*organisation parmi les parties de leur objet* : « Beaucoup de diagrammes ne ressemblent pas du tout à leurs objets, à s'en tenir aux apparences : leur ressemblance consiste seulement dans les relations de leurs parties » (Chauviré, 2008, p. 44). Ce qui lie intimement les formules algébriques et la composition de plusieurs photographies (les deux photos qui « permettent de tracer une carte » et la photographie composite) est que l'absence de « ressemblance sensible », externe, n'empêche pas d'exhiber des analogies entre la méréologie des objets d'un côté et les formules algébriques et les compositions photographiques elles-mêmes de l'autre. Plus précisément encore, les formules algébriques et les compositions de photos peuvent incarner les relations entre les parties dont sont construits les objets sans que la ressemblance de leurs apparences sensibles intervienne. De plus, autant dans les cas de l'observation des compositions photographiques que des formules algébriques³¹, « peuvent être découvertes concernant [leur] objet d'autres vérités que celles qui suffisent à déterminer [leur] construction » (Peirce cité dans Brunet 2000, p. 314). On veut dire par là que la photographie composite n'est pas prise en compte comme représentant un objet mais comme intermédiaire entre deux ou

30. On rappelle que la catégorie des icônes comprend les images, les diagrammes et la métaphore : « On peut en gros diviser les hypoïcones suivant le mode de la priméité à laquelle elle participent. Celles qui font partie des simples qualités ou premières priméités sont des *images*; celles qui représentent les relations, principalement dyadiques ou considérées comme telles, des parties d'une chose par des relations analogues dans leurs propres parties, sont des *diagrammes*; celles qui représentent le caractère représentatif d'un *representamen* en représentant un parallélisme dans quelque chose d'autre sont des métaphores » (Peirce, 1931-1935, 2.276-7).

31. Il ne faut pas se faire surprendre par le fait que la formule algébrique est considérée comme une icône : c'est vrai que les formules sont constituées de symboles, c'est-à-dire de signes généraux qui ne se rapportent à leur objet qu'en vertu de conventions arbitraires, mais c'est l'iconicité qui prédomine chez elles, voire la constitution de *formes*, à savoir une structure qui rend manifeste et saisissable perceptivement la totalité des relations entre ces signes généraux eux-mêmes et permet ainsi la découverte de conclusions imprévues et informatives. « Quant à l'algèbre, l'idée même de cet art est qu'elle présente des formules que l'on peut manipuler et que par observation des effets de cette manipulation on découvre des propriétés qu'on n'aurait pas discerné autrement » (Peirce, 1931-1935, 3.363).

plusieurs phénomènes visant à en faire ressortir des analogies ou des caractères commensurables qui ne seraient pas prévisibles avant le montage photographique et son déploiement (c'est-à-dire dans ses prémisses). Peirce parle en fait dans ce cas non seulement de deux photographies mais « de deux photographies qui servent à tracer une carte ». Cela revient à dire que les relations entre ces deux photographies — par projection, translation, miroitement etc. —, non seulement permettent de tracer des relations entre parties du territoire à l'intérieur de la carte en question, mais d'en révéler d'imprévues. Dans ce sens, elles peuvent être comprises comme des intermédiaires entre le territoire et la carte à tracer ainsi que comme des outils pour révéler des relations entre parties du territoire à investiguer. Comme l'affirme Brunet (2000) :

Peirce rejette du même mouvement le critère de la « ressemblance sensible » et celui du degré de conventionalité pour définir l'icône; celle-ci est plutôt caractérisée en termes logiques, par sa « capacité à révéler une vérité inattendue » concernant son objet. L'exemple des deux photographies servant à tracer une carte renvoie à la méthode photogramétrique certainement familière à Peirce par le biais de la géodésie. Dans cette méthode, on peut construire une carte, sous certaines conditions techniques, à partir de deux ou plusieurs photographies d'un site donné prises de points de vue opposés, moyennant des opérations de réduction analogue à celles du levé direct. La photographie couplée a reçu beaucoup d'autres usages, notamment dans divers types d'analyse du changement. Comme dans le cas de l'enregistrement photographique des éclipses, *ce qu'exploite la méthode n'est pas la ressemblance de chaque photographie à des objets particuliers, mais l'analogie idéal de la topographie que constitue la collation géométriquement déterminée des deux photographies* (pp. 314–315, nous soulignons).

Ce n'est donc pas une ressemblance sensible (*sensuous resemblance*) mais bien une similitude idéale (*likeness*) qui est manifestée par le dispositif du diagramme. Pour pouvoir étudier les fonctionnements qui sont transversaux (la similitude idéale) par rapport aux apparences visuelles (ressemblance sensible) il faut partir non pas de l'analyse des instruments imageants eux-mêmes mais bien des problèmes d'une fois à l'autre différents à l'intérieur d'une recherche scientifique qui engage des images et des dispositifs verbo-visuels. Comme on l'a dit auparavant, il faut partir des raisons de la fabrication d'images (leur pourquoi) et non pas simplement du plan de l'expression des images elles-mêmes. Nous allons à présent parcourir à nouveau certains travaux d'analyse, ici et dans la troisième section, qui rendent compte de la façon dont une image ou plusieurs images peuvent fonctionner diagrammatiquement.

4.2. *La photographie scientifique entre trace et mathématisation*

Essayons maintenant de nous plonger plus en profondeur dans la relation qui peut s'établir entre la trace de quelque chose et la nécessité de généralisation.

Nous savons que les disciplines scientifiques contemporaines mettent en jeu une tension entre la visée particularisante et la visée généralisante de la recherche, à savoir entre l'investigation d'un objet ou d'un parcours particulier et la tentative de modéliser et d'étendre des avancées à un nombre d'objets et de processus les plus étendus possible. À la lumière de la conception de la science contemporaine, la photographie est, avec le dessin, le dispositif médiatique qui pourrait apparaître comme dépourvu de cette double capacité parce qu'elle ne permettrait l'investigation que sur le seul objet capté (visée particularisante) — et non pas la généralisation sur d'autres objets similaires (visée généralisante).

La photographie a été considérée au début de son histoire comme un outil important dans les disciplines scientifiques telles que la botanique, l'astrophysique, la géographie, etc. — elle était en fait censée fonctionner comme un miroir enregistreur de l'objet investigué —, mais en maints cas considérée comme vide de pouvoir prévisionnel ou généralisateur. D'une certaine manière la photographie ne pourrait pas remplir la fonction si importante en science qui est celle de « transporter au loin des éléments du contexte » (Latour, 1996, p. 155), comme si elle était destinée à rester enveloppée par le localisme de sa prise de vue, par le contexte de la situation d'enregistrement, bref comme si son mode de production lui imposait inévitablement de rester soumise à l'analyse et à la connaissance locales de ses produits³². Cette idée relève à notre sens d'une perspective superficielle car la photographie, sous certaines conditions, peut devenir un outil qui permet la modélisation d'objets. Mais c'est vrai par ailleurs qu'une photo en soi ne peut

32. Une autre difficulté de la photographie à valoir comme instrument scientifique est le fait qu'il est difficile de réduire et/ou contrôler ses distorsions optiques. Le premier à soulever ce problème a été Ch.S. Peirce lors de son rapport pour le Service géodésique des Etats-Unis (*Report of the Superintendent of the US Coast Survey... 1869*, Washington DC, Government Printing Office, 1872) fait pendant sa période de travail sur l'utilisation des photos en astronomie à l'Observatoire de l'Université d'Harvard. Comme l'affirme Brunet : « les photographies ne se prêtaient pas aux opérations de mesure. Non seulement elles n'étaient pas utilisables sans un protocole précis de correction; non seulement la méthode de calcul utilisée était défectueuse en tant qu'elle ignorait plusieurs facteurs de distorsion; mais une combinaison de facteurs techniques et optiques impliqués dans la réalisation des images interdisait, quelle que soit la méthode, que les photographies puissent fournir des données exactes. Le raisonnement de Peirce reposait notamment sur l'identification de défauts techniques, la comparaison de valeurs sur plusieurs images prises à des moments différents, et la confrontation des informations de l'image avec des données externes, optiques et astronomiques. Tout en posant implicitement en principe l'identité théorique de l'image photographique et de l'image mathématique, Peirce mettait en avant les multiples facteurs d'indétermination qui, dans la réalisation de l'image photographique, relativisaient ce principe et constituaient des sources d'erreurs. » (Brunet 2000, p. 309). Si donc les distorsions optiques ne pouvaient pas être corrigées, au moins Peirce reconnaissait une efficacité scientifique à la partie chimique du processus photographique : « On voit aussi que si la photographie, en vertu de sa base chimique en particulier, pouvait être un instrument de mesure utile (notamment dans ses usages non iconiques, comme en photométrie, domaine où Peirce reprit et amplifia des investigations commencés dès la publication du daguerréotype), l'assistant géodésique était allé très loin dans l'identification des sources d'erreur inhérentes à sa technologie optique » (*Ibid.*, p. 310, nous soulignons).

jamais être considérée comme scientifique. Selon Latour, mais aussi selon Peirce, pour qu'il y ait scientificité il faut qu'il y ait une mise en rapport, une médiation : une image *isolée* n'est jamais scientifique. Comme nous venons de le dire avec la phrase peircienne reportée toute à l'heure, « à partir de deux photographies on peut tracer une carte », c'est en fait la composition méthodiquement organisée de plusieurs images, à savoir l'« image composite », qui constitue un instrument de fiabilité scientifique en vue d'un objectif fixé.

La question de l'image composite ou de l'image moyenne est traitée dans l'article de Giardino (2010) publié dans *Visible* 6, qui revient sur la célèbre méthode procédurale de l'anthropologiste anglais Galton qui, au milieu du dix-neuvième siècle, s'est mis à la recherche d'une méthode qui lui permettrait d'étudier scientifiquement la physiognomonie à l'aide de l'application d'une procédure d'abstraction mécanique à des photographies afin de comprendre les comportements typiques de différents groupes de criminels. Les portraits photographiques étaient d'abord disposés sur une feuille transparente, et ensuite superposés l'un sur l'autre pour faire apparaître l'aspect « standard » du visage d'un type de criminels. Les résultats n'étant pas toujours satisfaisants à cause des lignes floues et des apparences fantomatiques, Galton introduisit la considération de la moyenne. Comme le rappelle Giardino, dans une note parue dans *The Photographic News* en 1888, Galton faisait allusion à ce problème en disant que dans un portrait composé il fallait montrer non seulement l'*agrégat* de ses composantes, qui possède une réalité physique, mais aussi leur *moyenne*, qui correspond par contre à une fiction statistique. Il décidait de mesurer les proportions entre les éléments des visages de chaque individu du groupe et d'en faire la moyenne. Le but de ces calculs était alors de rassembler des données permettant de décider de la bonne inclinaison de l'appareil photo et de la distance opportune par rapport au type de visage à représenter pour éviter l'émergence d'ombres et de lignes floues.

Ceci est un des premiers exemples de l'application sur une série de photos d'une méthode se basant sur des calculs statistiques et sur des règles mathématiques. Mais il y a eu d'autres méthodes de compactage des mesures dans une seule image pour faire apparaître justement sur une même topologie mesurable les relations entre ces mesures mêmes. Comme nous l'avons montré dans d'autres travaux (Dondero 2009a, 2009d), la chronophotographie a été un des cas pionniers de « compactification » dans une seule image de deux différents types d'informations, à savoir la trace de l'empreinte d'une part et l'analyse des intervalles temporels entre les espaces constituant la topologie de cette empreinte à travers la méthode graphique — selon l'appellation de E.-J. Marey —, de l'autre. La chronophotographie témoigne en fait de la coexistence, en un seul support visuel, des traces photographiques et de l'analyse graphique visant la mesurabilité de ces traces, qui sont censées être utilisables pour des fins *ultérieures*, non-locales. Ces chronophotographies visent à représenter la relation entre des données locales enregistrables d'une part et des informations mathématiquement manipulables de

l'autre. Voici l'*Étude de la marche d'un homme avec une baguette blanche fixée le long de la colonne vertébrale* (Figure 2).

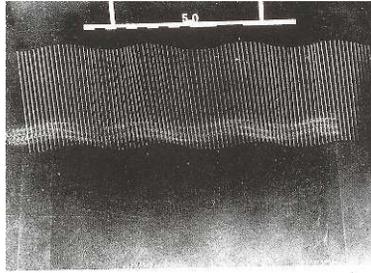


Fig. 2. E.-J. Marey, *Étude de la marche d'un homme avec une baguette blanche fixée le long de la colonne vertébrale*, 1986. Chronophotographie, Paris, Cinémathèque française, collections des appareils.

La chronophotographie a couplé la prise locale (c'est-à-dire la prise de l'empreinte, ici le trajet en continu) avec la mesurabilité de cette empreinte même (ici dans la trajectoire formée par la répétition de la baguette en mouvement). Cette mesurabilité est déjà un instrument de traductibilité, reproductibilité, transmissibilité : elle est une photographie qui garde ensemble les détails locaux de l'empreinte et qui en même temps construit des discontinuités au sein de cette empreinte. Ce sont ces discontinuités qui permettent de construire une notation qui amène chaque image chronophotographique à *devenir le dépassement d'elle-même* : en passant par une notation garantie par sa partie graphique, à savoir par la constitution de rapports spatio-temporels codés, elle peut devenir un *texte d'instructions* pour l'investigation et la comparaison d'*autres* phénomènes spatio-temporels que ceux concernant ce mouvement précis photographié ici. On s'aperçoit déjà de la force d'abstraction de ce type de photographie qui peut devenir un outil de comparaison avec d'autres rapports spatio-temporels et ensuite un instrument utilisé en vue d'une modélisation.

Voici une autre chronophotographie de Marey : *Étude du trot du cheval (cheval noir portant des signes blancs aux articulations)* (Figure 3).

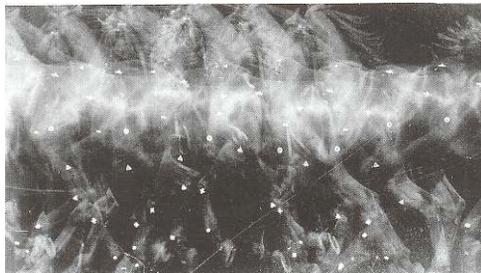


Fig. 3. E.-J. Marey, *Étude du trot du cheval (cheval noir portant des signes blancs aux articulations)*, 1886, Chronophotographie, Paris, Collège de France.

Cette chronophotographie est censée capter l’empreinte du mouvement particulier de ce cheval précis (on voit le flou du mouvement), et la partie graphique (visualisée en tant que réseaux de points blancs) résultante de la mesure de la relation entre espace parcouru et durée de ce parcours, permet un paramétrage du mouvement dans la durée qui fonctionne comme une opération d’allographisation de ces mêmes données spatio-temporelles particulières. La notation est la constitution d’un alphabet de modules qui vise à offrir un plan de commensurabilité entre particularités; pas spécialement de généralisations, mais justement des commensurabilités. Cela permet de caractériser une image chronophotographique non seulement comme une image de quelque chose, mais comme un lieu de commensurabilité et aussi comme *un terrain qui rend possibles des manipulations* qui peuvent se révéler utiles pour domestiquer le mouvement, l’étudier, l’expérimenter.

Ces deux chronophotographies nous montrent que la configuration graphique peut être littéralement « contenue » à l’intérieur de l’empreinte photographique et que ces deux organisations différentes des données liées au mouvement, à savoir la densité figurative de l’empreinte et les rapports mesurables entre espace parcouru et intervalle temporel, peuvent cohabiter et profiter l’une de l’autre³³ afin de montrer un interstice de commensurabilité entre les *données locales*, d’une part, et les régularités se constituant en des patterns qui sont la source d’une *grammaire de rapports entre espace parcouru et durée*, d’autre part.

4.3. Le diagramme entre autographie et allographie

Nous utilisons ici le terme d’autographie selon la conception de Goodman (1968) pour décrire le produit de l’empreinte photographique et le terme d’allographie pour décrire la configuration graphique de la chronophotographie. La tradition sémantique d’*autographie*, qui remonte à la philosophie analytique anglo-saxonne, renvoie aux faits que la saillance de l’image dépend de son histoire de production et que tout trait est syntaxiquement et sémantiquement dense, à savoir *insubstituable*. En ce qui concerne la configuration de l’image que Marey appelle graphique, on peut par contre la décrire en utilisant le terme d’*allographie* parce que dans le sémantisme d’allographie³⁴ est inscrit le sens de disjonction

33. Sur la question des « images mixtes » voir Allamel-Raffin (2010) : « L’importance du caractère mixte des images tient notamment au fait que cette mixité permet de conjuguer les apports issus des théories de la physique et des mathématiques sous forme de calculs et les données issues du monde matériel. En effet, sans le recours à de tels modèles logico-formels, cette image resterait prisonnière de sa temporalité, et serait difficilement exploitable par les scientifiques », p. 29.

34. Dans le cas des arts allographiques, comme la musique ou l’architecture, la partition musicale ou le projet architectural étant des textes d’instructions, permettent, même quand le compositeur et l’architecte seront morts, d’expliciter des règles d’exécutions et ainsi de garantir la performance des exécutions ultérieures. La notation sert à rendre communicables et surtout transférables des pratiques culturelles, forcément denses, aux générations futures. Le terme d’allographie concerne plus largement la transmission et l’héritage des cultures dans la diachronie : la notation répond aux

et de sélection des traits pertinents, de stabilisation de règles syntaxiques et de transmission d'instructions afin de multiplier les exécutions à l'intérieur d'une classe de concordance : toutes opérations qui visent à expliquer le fait qu'un énoncé puisse fonctionner comme *producteur* d'autres énoncés à travers des règles notationnelles établies permettant la codification d'instructions et leur lisibilité. L'énoncé en question perd évidemment la relation privilégiée avec le support d'inscription, unique et insubstituable qui caractérise par contre le régime de l'autographie mais gagne en transmissibilité et manipulabilité. L'allographisation d'une image permet de sélectionner des relations de données, d'extraire des règles et de rendre enfin *transposables* les résultats d'une investigation, de mathématiser et de fabriquer d'autres images également. L'image photographique, en s'allographiant, devient *comparable* avec d'autres images, à la fois attestées et possibles, *manipulable et orientée vers le futur*. En affichant des patterns et des régularités, d'empreinte elle peut se transformer ainsi en une *image prédictive*. Il s'agit, dans le cas de la chronophotographie, de visualisations qu'on pourrait qualifier de diagrammatiques, en empruntant cette fois à Goodman le sens du terme diagramme. Le *diagramme* se constitue en fait dans la commensurabilité pressentie entre dimension autographique et dimension allographique des énoncés. À son sens, le diagramme valorise en même temps le support des données (densité figurative, voire autographie photographique) et la transformation des rapports entre ces données en des véritables *exemplifications de rapports* utilisables pour d'autres pratiques d'investigation (allographie).

Comme nous l'avons esquissé auparavant, un module, à savoir un ensemble de données homogénéisées et regroupées en fonction d'un paramètre choisi, produit par une opération d'allographisation de l'image-empreinte, possède la caractéristique d'être transférable et de devenir un élément d'une notation — définissable aussi comme un environnement virtuel qui contrôle les positionnements de ses éléments et leur syntaxe. Les règles de cette notation déterminent les rapports syntagmatiques et paradigmatiques permis et interdits entre modules.

Des règles de combinaison entre les modules et leurs densités³⁵ dépendent les réseaux plus ou moins longs et plus ou moins étendus du référent scientifique. La

exigences de l'homme de tout temps de réduire le continuum d'un système dense de signes en des discontinuités, *discontinuités modulables qui sont censées être ré-articulables*. C'est sur l'allographie que se fonde la possibilité d'un héritage des cultures; et dans les sciences dures cela a une importance capitale non seulement dans la diachronie, mais aussi dans la synchronie parce que, quand la densité figurative d'une image s'allographise, comme dans la chronophotographie, cette même opération d'allographisation permet d'extraire de cette image des règles et d'en modéliser les relations.

35. Si la densité autographique du module reste forte, le module aura moins de chance de construire des patterns susceptibles de s'étendre au loin, mais si sa densité possède des mailles trop grandes, son heuristique n'est pas certaine non plus : ce module pourra se combiner avec tout autre, pour constituer n'importe quelle chaîne de transformations : la non sévérité de ses paramètres lui empêcherait de fonctionner comme un paramètre décisif pour la constitution de nouvelles chaînes de la référence scientifique.

possibilité d'étendre la référence par des branchements de modules est un des buts principaux, sinon le but principal, de la recherche scientifique³⁶ : l'allographisation des données visualisées rend possible l'investigation future grâce à sa notation. La notation permet de transformer une image unique et dont le rapport à son support est insubstituable (forte densité des éléments pertinents à sa signification) en une *configuration de rapports réutilisable* (raréfaction des éléments pertinents à sa signification). Les modules doivent former un vocabulaire limité de rapports, un système économique de rapports, par exemple, dans le cas de nos chronophotographies, entre intervalle temporel et mouvement dans l'espace³⁷.

On s'aperçoit facilement du fait que des données et de leurs ancrages dans une phénoménologie des expériences doivent être extraits des *patterns* qui peuvent engendrer des nouveaux sous-systèmes de notation ou améliorer ceux déjà existants dans un domaine disciplinaire donné. Mais ce qu'on extrait des images autographiques ce ne sont pas des données, mais des propriétés, des relations entre données, des équivalences, des moyennes, bref des fondements pour l'établissement de *comparabilités futures*. Et le diagramme se situe au milieu de ces deux stratégies de représentation : entre la densité et la notation, entre une opération de densification (image qui vise à expliquer ou résoudre des cas précis) et une opération de grammaticalisation (image prédictive). Le diagramme laisse ouvertes les deux portes : la porte de la densité et du localisme, et la porte de la grammaticalisation : le diagramme doit se manifester comme *pattern* reconnaissable en-deçà de l'hétérogénéité des expériences et permettre ainsi un regard *anamorphique*. Comme l'affirme Pierluigi Basso Fossali (2009), le diagramme est une forme abstraite de relation qui est *exemplifiée dans une expérience mais transposable pour d'autres expériences*.

On voit bien qu'à partir de la chronophotographie on ne peut plus penser que l'image photographique nous offre une vision du particulier et le graphique ou le schématique une vision du général. On peut garder ensemble, dans une même image, une visualisation micro et une visualisation macro, des particularités et des régularités, comme nous l'ont appris les travaux de Tufte (2005). Et comme nous l'ont également montré les études récentes de Jean-Marie Klinkenberg (2009) sur la relation entre tabularité et linéarité dans les graphiques, *un graphique peut fonctionner comme un diagramme* s'il construit une commensurabilité entre la visée locale et la visée globale de l'exploration et de la recherche, entre données particulières et règles transmissibles et généralisables.

Ces exemples nous aident à rebondir sur le fait que l'approche sémiotique nous impose de nommer diagramme non seulement quelque chose qui a l'apparence d'un graphique ou d'un schéma au sens banal du terme (caractérisés par des flèches, des

36. Voir à ce sujet Latour (1999, § 1).

37. Comme le montre très bien le cas des mathématiciens grecs étudiés par Netz (2003), une des raisons de leur succès est d'avoir « inventé » un système *économique* de formules, bref, une notation, qui leur a permis de réduire le localisme pour gagner en grammaticalisation.

axes, etc.) mais ce qui fonctionne comme un diagramme : mettre en coexistence des commensurabilités entre des singularités et des patterns, des traces et des modèles.

4.4. *Le parcours de la trace à la géométrisation*

Une des questions les plus pressantes dans ce genre de réflexion est la suivante : comment construire un type, un modèle d'un objet scientifique, à partir d'une trace photographique ? À ce sujet, un des articles les plus importants qui ont été publiés dans les vingt dernières années est sans aucun doute « The externalized retina : Selection and Mathematization in the Visual documentation of Objects in Life Sciences » (1990) du sociologue des sciences Michael Lynch. Il identifie dans le domaine de la biologie deux méthodes de construction de l'objet scientifique via la visualisation : celui qui sélectionne (les données sont schématisées) et celui qui mathématise (un ordre mathématique est attribué aux objets). Dans cet article Lynch décrit les transformations des propriétés valorisées par chaque type de représentation et montre comment les représentations schématiques transforment les images photographiques au microscope en identifiant quatre pratiques visant à construire un modèle de ribosome : 1. le *filtrage* qui non seulement élimine du bruit informationnel mais qui construit une gradation plus limitée des qualités visibles, notamment par l'isolement des ribosomes (en tant que figures) du fond ; 2. l'*uniformisation* des couleurs, des tailles et de la distribution des ribosomes ; 3. l'*identification* des lisières, limites et bordures afin que les propriétés puissent acquérir une identité d'entités. Cette identification est rendue possible à travers différentes opérations de constitution méréologique des données visant un processus de stabilisation des formes. C'est ici que nous retrouvons les stratégies de l'iconisation dont nous avons parlé dans la section précédente. Ces tests visuels peuvent se concevoir en tant que compositions toujours partielles qui rendent compte de l'émergence de morphologies différentes dans l'organisation des données tout au long d'une chaîne de tentatives de stabilisation et organisation de l'identité des objets de la recherche scientifique. En somme, l'iconisation concerne la recherche d'une forme stable par rapport à la confusion perceptive attribuée à la photographie microscopique : le but est de transformer le phénomène d'un statut d'objet de recherche à celui d'un objet acquérant une scientificité ; 4. l'identification des identités se fait aussi en corrélation avec l'*objectif du texte* d'explication et d'argumentation qui accompagne ces images. Dans le cas étudié par Lynch les ribosomes qu'on choisit comme représentatifs sont noircis et ensuite numérotés en suivant un parcours et un protocole de recherche qui est décrit dans le texte. Ces entités finales appelées ribosomes sont manipulées en tenant compte des caractéristiques du texte verbal de l'article : le langage verbal ne peut nommer que les identités définies. C'est comme si les formes dans l'image, considérées comme appartenant au langage analogique, devaient de plus en plus se schématiser et identifier des entités via la digitalisation visuelle pour suivre les règles d'« objectification » prévues par le langage verbal. Avec la

production d'éléments bien *distingués* voire digitalisés dans l'image on crée une correspondance entre les qualités extraites d'un processus et son nom, qui lui donne une identité d'objet³⁸. D'une certaine manière et presque paradoxalement, la schématisation, en rendant plus abstraites les données de la photographie, et en éliminant tout ce qui aurait pu fonctionner comme bruit et comme artefact, permet l'iconisation de l'objet. La schématisation supprime la variation de nuance, de couleur, de texture et de positionnement, et tout en rendant plus abstraite la relation entre figures et fond, elle construit des entités enfin nommables par une sémiotique figurative. Il faut ici préciser que par figurativisation on entend le résultat de l'accumulation, densification et stratification de traits identitaires qui permettent de caractériser les propriétés d'un objet. Ces parcours d'accumulation et de stratification se font à travers une restriction des possibles. On reconnaît donc dans la schématisation qui amène à une abstraction des données sensibles, un parcours vers la « figurativisation » identificatrice : l'abstraction au niveau du plan de l'expression permet la figurativisation au niveau du contenu.

On peut enfin affirmer qu'à travers la schématisation on passe d'une image qui garde la trace de sa *situation d'énonciation* à une image qui tend à la faire oublier, tout en valorisant non plus le contexte de production, mais la visée identificatoire et explicative du langage verbal à travers lequel l'image est encadrée et commentée et ensuite en valorisant le contexte de *réception*, la lisibilité de l'image et la reconnaissabilité d'un objet. Ce qui, sur le plan d'expression visuel, se *schématise* et va vers l'abstraction, permet sur le plan du contenu de *spécifier* les caractéristiques essentielles d'une entité, de créer une figure, de figurativiser une recherche expérimentale et ensuite de construire un objet scientifique. Lynch affirme à ce propos que la schématisation non seulement sélectionne les données de la photographie, mais identifie dans le spécimen des propriétés « universelles » ayant le pouvoir de *solidifier* (ou bien selon notre terme, iconiser) l'objet de référence par rapport au stade de la discipline — ce que la quatrième action décrite par Lynch accomplit en choisissant des ribosomes représentatifs d'un fonctionnement spécifique. Par rapport à la photo, la schématisation n'est pas seulement une visualisation simplifiée (il s'agit d'ailleurs aussi d'ajouter des traits et des couleurs afin de manifester ce qui est *latent* dans la trace photographique), mais également une visualisation modifiant la direction de l'objet en fonction des soucis de théorisation et de pédagogie, et synthétisant les démarches d'un champ de la discipline et de ses objectifs. Ce faisant non seulement on constitue de l'ordre, mais on fait en sorte que les données visuelles puissent s'assujettir à des opérations mathématiques pour augmenter leur utilité.

38. On pourrait également affirmer que le processus d'iconisation qui amène, via la géométrisation stabilisatrice des formes, à la constitution d'entités qui ont le statut d'objet, se termine avec un processus de symbolisation qui se manifeste en tant que moyen de commensurabilité entre les visualisations et les textes verbaux ainsi qu'entre les visualisations et les théories plus ou moins stabilisées à l'intérieur d'un champ disciplinaire. Voir à ce sujet Dondero (2010).

Ceci dit, il faut se rappeler que la photographie est prise déjà en concevant qu'il y aura des grilles et des dispositifs schématiques qui l'analyseront ; ce qu'on appelle la « prise de vue » est déjà dotée non seulement de paramètres instrumentaux adaptés à l'objectif visé mais aussi aux méthodes d'analyse auxquelles elle sera soumise. Lynch remarque à ce propos que, par exemple, les choix d'objets ou processus à étudier en biologie sont faits déjà en s'appuyant sur leurs caractéristiques *protogéométriques*. La visée photographique est d'une certaine manière déjà sensibilisée par les schématisations géométriques qui l'analyseront : on pourrait même dire que la prise de vue a déjà incarné la transformation dans le sens géométrique qui lui suivra. L'objet devient ainsi de plus en plus guidé par des hypothèses, c'est-à-dire devient un objet théorique « trans-situationnel » et ensuite utilisable didactiquement avec une forme mathématique analysable — la construction de limites, de lignes, de points et de symétries est un processus de géométrisation préparant la mathématisation. En fait, la géométrisation qui prélude à la mathématisation est déjà incarnée dans l'image schématisée : construire un schéma d'un phénomène est selon Lynch déjà *positionner* un objet dans un environnement, ce qui le rend par la suite *transférable* et *translocal*. Une fois que l'objet a *trouvé son positionnement* à l'intérieur d'un environnement contrôlable, il peut *se déplacer*. Cet environnement géométrique et ensuite mathématisable lui permet de construire un paradigme de possibles fonctionnements comparables les uns avec les autres.

Nous allons à ce propos étudier un corpus d'images du soleil valorisant les coupures temporelles de l'observation. L'astronomie a toujours utilisé de manière massive la photographie, car elle a permis la quantification et la mesure des énergies lumineuses à travers le processus chimique, et plus récemment, électronique, de l'inscription. La *fréquence* établie pour les observations et pour la prise des photographies est un exemple de coupure arbitraire d'une unité dans le continuum du déroulement temporel : en astrophysique le changement d'échelle fait que les instruments d'investigation changent ainsi que les conventions représentatives.

En ce qui concerne la trace du soleil³⁹, si on veut la mesurer à l'échelle d'un jour on obtient une image du déplacement de l'astre qui établit une relation 1 à 1 avec le paysage qui lui donne un référentiel⁴⁰, et grâce auquel on peut suivre entièrement le déplacement du soleil (Figure 4). Nous sommes ici à l'échelle d'un jour (24 heures) et d'un paysage à 360 degrés. La totalité temporelle « jour » correspond à la totalité spatiale et paysagère « 360 degrés ».

39. Je remercie vivement François Wesemael pour les discussions sur ces images du soleil faites à l'Université de Montréal (Département de Physique) lors d'un séjour de recherches financé par le Fonds National de la Recherche Scientifique belge (F.N.R.-FNRS) du 27 mars 2010 au 11 avril 2010 et pour la relecture de ces pages concernant les représentations du soleil et d'autres étoiles.

40. Voir à ce propos Bordron (2009).

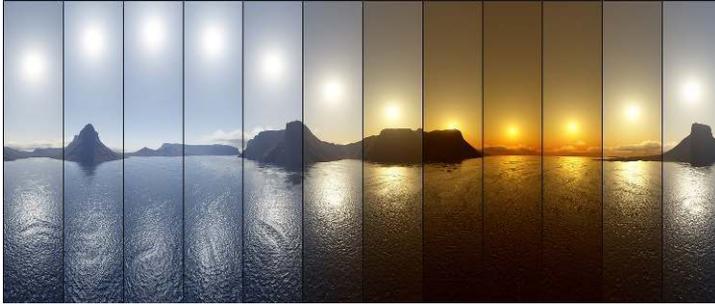


Fig. 4. Soleil de minuit. La série de clichés représente le parcours quotidien du soleil tel que photographié à une latitude terrestre excédant celle du cercle polaire. Le soleil ne passe pas sous l'horizon, ou ne se couche pas (cliché Anda Bereczky).

Dans cette autre image (Figure 5) on voit une boucle en forme de 8 qu'on obtient en notant la position du soleil à la même heure à divers moments de l'année. Il s'agit du phénomène de l'analemne. Ici on est face à une image qui est le résultat de l'exposition multiple — multiple car elle enregistre la position du soleil à midi à divers moments de l'année — fixée sur un seul négatif.

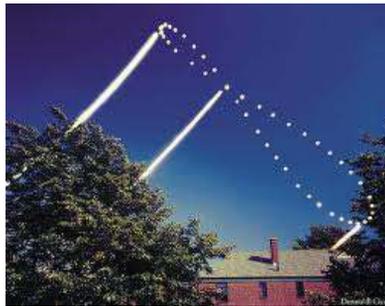


Fig. 5. Analemme, permettant de visualiser la position du soleil dans le ciel au même moment de la journée tout au long d'une année (cliché Dennis di Cicco).

Ici on voit bien qu'il ne s'agit plus d'une échelle spatio-temporelle 1 à 1, ni d'une homogénéité de rapports entre le déplacement de l'objet soleil et son référentiel dans l'étendue du paysage : un paysage fixé à un moment donné devient le support d'inscription d'un cycle complet du soleil tout au long des 365 jours. On a donc un paysage saisi à un temps t donné sur lequel sont inscrits et distribués les différents temps t_n de captation et tous les déplacements du soleil qui ont eu lieu : le paysage fonctionne comme le support *fixe* pour l'inscription d'un *mouvement* dans le temps. Cette image permet de mettre en évidence les rythmes de déplacement du soleil, ses parcours par rapport à un même référentiel paysager. Ici on n'a plus la totalité d'un paysage à 360° en correspondance avec la totalité temporelle du parcours du soleil (un jour) : le déploiement du paysage n'est plus en correspondance avec les changements temporels à travers une échelle 1 à 1 ; on a réduit la grandeur

spatiale pertinente pour mettre en évidence l'ouverture de la grandeur temporelle pertinente, voire réduit l'espace pour pouvoir schématiser la multiplication des changements de position tout au long d'une grandeur temporelle plus vaste. Il s'agit en fait de fixer un lieu pour voir comment s'y inscrivent les étapes du soleil plutôt que de *suivre le déploiement spatial* en correspondance avec le *voyage en continu* du soleil.

Lorsque l'échelle d'un an sera dépassée, à savoir lorsque l'accumulation des données à des temps différents ne pourra plus être « contenue » dans le cadre d'une spatialité figurativement homogène comme celle paysagère vue toute à l'heure dans la figure 5, — car d'autres échelles seront devenues pertinentes (tant l'échelle des secondes que l'échelle de millions et milliards d'années) — cette spatialité figurativement homogène ne sera plus un support d'inscription significatif. Par conséquent on perdra ce paysage en tant que support d'inscription et en tant que référentiel de mesure. Le support pertinent deviendra le papier millimétré d'un graphique qui n'établira plus aucune correspondance entre un cycle d'événements temporels et une spatialité paysagère, mais au contraire entre des régularités d'événements et d'observation d'un côté et un espace topologique mesurable de l'autre (Figure 6).

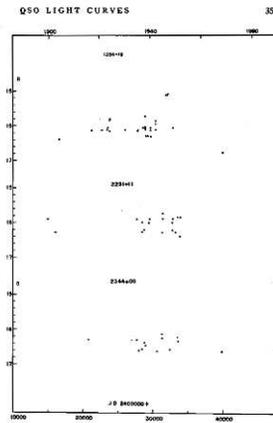


Fig. 6. Courbes de lumière de quelques objets quasi-stellaires (QSO). La brillance de l'objet est tracée en fonction du temps. L'échelle de temps ici est relativement longue, environ 75 ans (source *The Astronomical Journal*, n° 78, pp. 353–368, 1973)⁴¹.

Les correspondances ne seront plus établies entre un support de régime autographique et des événements qui s'y inscrivent, comme c'était le cas des deux premières images, mais entre un support allographique et des régularités, des

41. Ce schéma est extrait d'un article de R.J. Angione paru dans la revue *The Astronomical Journal* (n° 78, pp. 353–368, 1973). Les courbes de lumière des objets quasi-stellaires (QSO) observés sont basées sur la collection de plaques photographiques de l'Université Harvard, qui permet une étude photométrique de ces objets sur de longs intervalles de temps (ici, de 1900 à 1973).

patterns, des moyennes. L'unité spatiale du paysage éclate vu que les opérations de comparaison et de mesure des proportions changent : le référentiel n'est plus un paysage à 360°, ni un paysage fixe et stable, mais un espace topologique, une feuille millimétré, chiffrable.

Avec ces trois images on passe donc de la *photographie à 360°*, à travers la *photographie à expositions multiples* sur un même négatif, à la *photométrie* qui est une technique qui mesure la brillance des étoiles en fonction du temps⁴². On s'aperçoit que la fréquence d'observation recherchée a des retombées décisives sur ce qu'on peut connaître. Les échelles de temps fonctionnent comme différents stades d'exploration de l'invisible et du lointain. L'identité d'une étoile se construit donc par accumulation et transposition d'échelle. Tout objet est concerné par toutes les échelles de temps, mais son identité peut changer en rapport à la manière dont les résultats de l'échelle sont composés et traduisibles entre eux.

Nous pourrions enfin affirmer que quand le temps de l'observation excède les possibilités de vie de l'astrophysicien ou les rythmes de la vie humaine on a besoin de recourir à des types de visualisations schématiques qui sacrifient le rapport photographique à un référentiel-objet déjà constitué et saisissable par des modèles figuratifs qui peuvent être vérifiés au moins en partie par notre expérience quotidienne. Nous voyons encore une fois que l'allographisation de données est strictement nécessaire une fois que la superposition des données dépasse le cadre de la totalité de l'environnement choisi comme pertinent pour la récolte de ces données. Une fois le cadre environnemental éclaté, il faut choisir de nouvelles règles de représentation des données en les comprimant et en cherchant d'autant plus les patterns qui en mettent en valeur les régularités.

On s'occupera du mouvement inverse, des mathématiques à la visualisation, dans la prochaine section.

5. Troisième section

Les genres de la littérature scientifique

La vérité, comme l'intelligence, est peut-être seulement ce que testent les tests; et la meilleure prise en compte de ce qu'est la vérité est peut-être « opérationnelle », en termes de tests et des procédures pour en juger (Goodman, 1978, p. 170).

42. En astronomie, la photométrie désigne l'étude de l'intensité lumineuse des étoiles, et de sa variation dans le temps. Aux débuts, la photométrie se faisait de façon photographique. Plus exactement, la photographie fait appel à un type de récepteur de l'intensité lumineuse (la plaque ou le film photographique), alors que la photométrie est l'étude de l'intensité lumineuse et, le cas échéant, de sa variation temporelle — quel que soit le récepteur utilisé (plaque photographique, photomultiplicateur, récepteur de type CCD comme dans les caméras numériques, œil humain...). Merci à François Wesemael pour cette précision.

Comme nous l'avons déjà dit au début de notre travail, cette section peut être considérée comme appartenant à la catégorie des études relatives à la « science faite », voire aux analyses de la littérature scientifique. Mais on voudrait néanmoins porter l'attention sur ce que cette approche sémiotique de la « science faite » laisse de côté. En fait, cette approche n'est pas sans risque car elle exclut un travail ethnographique de recherche de terrain sur les pratiques et les procédures d'émergence des connaissances en laboratoire (recherches relatives à la « science en train de se faire »)⁴³. Cette dernière approche est partagée par un certain nombre de chercheurs en sociologie et anthropologie des sciences, ainsi que par des linguistes interactionnels⁴⁴ qui étudient les interactions entre les chercheurs en laboratoire et les conduites des sciences contemporaines *in vivo*. Ces études ne sont pas du tout de simples transcriptions et des comptes-rendus des séances en laboratoire mais des analyses du syncrétisme entre parole et geste dans un espace institutionnel. Cette approche nous paraît intéressante non seulement parce qu'elle montre une voie parcourable par les chercheurs en sciences du langage qui visent à étudier les pratiques dans leur déploiement (*énonciation en acte*) mais elle offre aussi une voie pour comprendre comment les stratégies rhétoriques de la littérature scientifique (*énonciation énoncée*) se basent sur une archéologie — au sens de Foucault — qui peut mettre en valeur les négociations et les décisions prises lors des expériences. Une recherche sur la science en train de se faire pourrait nous aider à expliquer comment la chaîne productive des images au sein de l'expérience scientifique (niveau des pratiques) détermine ou non le positionnement stratégique de ces mêmes images, après sélection et tri, au sein de la publication des résultats dans les différents genres discursifs (niveau du texte). Il faudrait donc 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 scientifique⁴⁵. À l'exclusion du travail de thèse d'Allamel-Raffin (2004) aucun sémioticien n'a encore pu se livrer à une étude de ce genre, c'est pourquoi je me limiterai dans cette section à l'analyse des statuts que les images assument dans la littérature scientifique en essayant de problématiser aussi la question des genres discursifs.

43. Sur la distinction entre « science faite » et « science en train de se faire » voir Latour (1987).

44. Voir Goodwin (1994, 1995, 1996, 1997, 2000) et Mondada (2005). Je tiens ici à remercier Charles Goodwin pour m'avoir accueilli à l'University of California Los Angeles (UCLA) en février 2009 pour un séjour de recherches financé par le Fonds National de la Recherche Scientifique de Belgique (F.R.S.-FNRS).

45. Mais il s'agirait aussi de mettre en évidence comment les pratiques elles-mêmes produisent des textualités tout au long de leur « être en train de se faire » et comment les textes déjà constitués sont manipulés tout au long des expériences.... D'ailleurs, comme l'affirme Basso Fossali (2006), les textes eux-mêmes sont déjà une forme de gestion, de thésaurisation et de mise en mémoire du sens, à savoir une manière de « résoudre » la précarité de la sémantisation des pratiques. Le texte est donc un pôle de normatisation des pratiques.

La littérature scientifique épure souvent des textes, même des textes de recherches, les discussions ayant lieu dans les lieux affectés à la fabrication de la connaissance scientifique. Comme l'a montré Françoise Bastide (2001), les controverses qui sont mises en scène par les articles scientifiques sont des disputes « externes » qui se jouent avec des laboratoires limitrophes et concurrents et qui ne révèlent pas les aventures conflictuelles intervenues au sein du laboratoire d'où ressortent les résultats de l'investigation dont il est question dans les articles.

Au contraire, les recherches des linguistes tels Charles Goodwin et Lorenza Mondada visent à montrer la dynamique de l'émergence des savoirs dans l'interaction entre scientifiques et objets d'enquête (rapports entre les prises de parole, sélections d'intonations⁴⁶, positionnements spatiaux des participants, gestes, outils techniques, etc.⁴⁷). Il s'agit de concevoir l'interaction comme une co-énonciation en acte, où les voix énonciatives sont distribuées dans des réseaux intersubjectifs et interobjectifs. Dans les travaux de Charles Goodwin et de Bruno Latour, les scientifiques et les différents outils techniques se diffractent et se compactent en des actants — notion permettant de décrire avec une extrême finesse et *transversalement* par rapport aux sujets et aux objets, les micro-actions qui constituent une interaction. Chez Goodwin, c'est l'orientation globale de l'interaction qui sert à démêler, sélectionner et ordonner les micro-actions des scientifiques et de leurs dispositifs de médiation (écrans d'ordinateur, crayon, microscope, appareils de mesure, etc.) —, mais le corps du scientifique peut être lui-même étudié comme un dispositif de médiation. Ces choix épistémologiques — concernant la supériorité sémantique de la taille globale sur la taille locale — et méthodologiques — concernant l'analyse actancielle —, qui peuvent se dire comme redevables d'une tradition sémiotique poststructuraliste pleinement assumée par les deux savants, ne visent pas à niveler l'humain et le non-humain comme l'a affirmé Bourdieu (2001) lorsqu'il a évalué le travail latourien⁴⁸. Au contraire, ils visent à réduire l'hétérogénéité du plan de l'expression des interactions pour pouvoir cerner les parcours d'iconisation de la connaissance expérimentale.

5.1. *Les trous noirs dans l'article de recherches : diagrammes et photographie calculée*

Nous allons ici poursuivre l'investigation sur le parcours d'un objet d'un statut de recherche à un statut scientifique comme cela a été le cas des ribosomes. Cette fois il s'agit pourtant du parcours d'iconisation allant des mathématiques à leurs visualisations, en passant par les formules algébriques et les diagrammes. Nous

46. Pour un aperçu des conventions de transcription utilisées par les linguistes interactionnels voir Mondada (2005, p. 13 et pp. 31–34).

47. Dans les cas de la sociologie des sciences, ainsi que de la linguistique interactionnelle, les méthodes d'analyse qui sont *a priori* exclues sont les interviews aux scientifiques, considérées justement non fiables par rapport à l'observation et à l'analyse de leur savoir-faire en acte.

48. Voir Bourdieu (2001) pp. 55–66, en particulier p. 62, où Bourdieu parle de « ces fameux "actants" ».

allons prendre en considération la littérature de l'astrophysique et examiner les parcours visuels que les hypothèses et les théories des trous noirs ont explorés pour donner une forme à ces objets théoriques qui sont impossibles à filmer ou à photographier. Les trous noirs sont non seulement théorisés comme des manifestations invisibles (ils sont décrits comme une sorte de gouffre qui attire la lumière — un rayon lumineux en est complètement absorbé et tout ce qui l'approche y disparaît) mais, de surcroît, leur existence n'est que le résultat d'un certain nombre d'hypothèses formulées à partir d'autres phénomènes de la topologie cosmologique, également difficiles à expliquer et auxquels il faut trouver une source et/ou une explication. On les appelle justement « a theoretical object » car leur configuration est expliquée principalement à travers la théorie de la relativité générale et par d'autres hypothèses que les équations traduisent et rendent opérationnelles.

Nous allons faire le parcours inverse que dans la section précédente où nous avons présenté le dispositif diagrammatique en tant que résultat, plus ou moins instable, d'une allographisation des traces autographiques. Nous envisageons de décrire les différents parcours de figuration des trous noirs dans l'article de recherche et dans l'ouvrage de vulgarisation.

Dans l'article de recherche ayant pour titre « Image of a Spherical Black Hole with Thin Accretion Disk » publié dans *Astronomy and Astrophysics* en 1979, Jean-Pierre Luminet, astrophysicien français de renommée, a produit et publié une image des trous noirs (qu'il appelle *photographie calculée*) en en proposant ainsi une première iconographie (Figure 7).

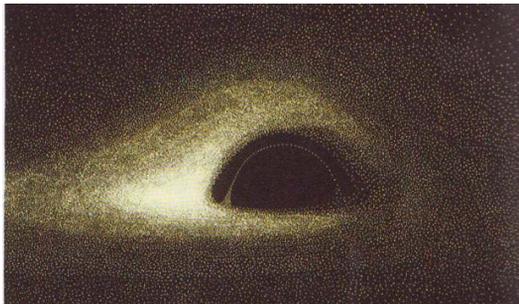


Fig. 7. Apparence lointaine d'un trou noir sphérique entouré d'un disque d'accrétion. Photographie virtuelle d'un trou noir, calculée en 1978 sur ordinateur (reprise dans Luminet, 2006, p. 284).

Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

Cette iconographie a été calculée à partir d'un certain nombre d'équations dont les valeurs mathématiques ont été visualisées comme ici (Figure 8).

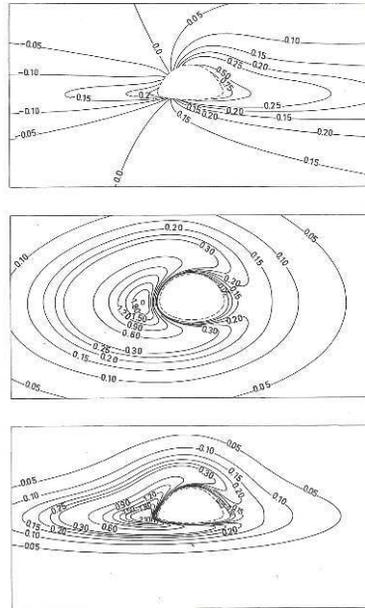


Fig. 8. Courbes du disque d'accrétion selon différents points d'observation (Luminet, 1979, p. 234). Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

Les séries d'équations et ces représentations que nous appelons, pour l'heure, génériquement schématiques, ont en quelque sorte pour objectif de *sonder toutes les combinaisons* des valeurs mathématiques et des paramètres pertinents qui ont été mis en jeu par les hypothèses (les paramètres de la distance fictive d'observation, de la luminosité, etc.). Dans le cas de ces visualisations mathématiques il ne s'agit pas de la représentation de quelque chose, mais de la visualisation de *situations possibles* de la matière, de comment quelque chose *pourrait se configurer*.

On s'aperçoit que les équations fonctionnent ici comme des instances énonciatives dont les produits cherchent à trouver une médiation entre les valeurs mathématiques et une phénoménologie perceptive du raisonnement. Dans ces visualisations, chaque ligne correspond à une règle de calcul : globalement, ce qui est représenté peut être défini comme « un lieu de *transition*, qui assure le *passage* entre des *effectuations différentes* d'une même réalité mathématique, qui fait communiquer des *séries divergentes* » (Batt, 2004, p. 22, nous soulignons). Il s'agit de tentatives visuelles et de mises à l'épreuve de la façon dont la formation des trous noirs pourrait être justifiable. Ces visualisations mathématiques sont donc des *iconisations des possibles*, des icônes des relations qui *peuvent s'engendrer*.

Comme nous l'avons remarqué auparavant, l'icône des relations est la définition que le philosophe et sémioticien américain Charles Sanders Peirce donne de diagramme : le diagramme est une icône des relations potentielles qui sont *condensées* dans *une* forme dessinée qui est à la fois *saisissable* (régime de la perceptibilité) et *manipulable* (régime de la virtualité). C'est bien en raison de cette

manipulation de quelque chose de saisissable que nous dirions que le diagramme rend possible une expérimentation.

Comme toute expérience en laboratoire l'image diagrammatique permet d'« amplifier l'intuition » (voir Châtelet 1993), ce qui valorise l'imagination en sciences mathématiques; cette notion d'amplification de l'intuition concerne un mouvement mental d'*amplification qui se fait par condensation* topologique. L'amplification des relations possibles se fait notamment grâce à la condensation en une visualisation synthétique qui permet de *penser ensemble* et de rendre perceptibles les résultats des manipulations de ces relations. Ces diagrammes permettent en fait de passer de plusieurs longues équations à une seule condensation graphique des valeurs en jeu qui est enfin capable de simuler des expériences de pensée sur des trous noirs. Ces séries de manipulations visuelles d'équations paraissent trouver enfin une condensation finale en une image différente des diagrammes mathématiques, voire en une image colorée, qui d'une certaine manière a *rempli* l'espace des *possibles* avec des nuances chromatiques qui paraissent arrêter et stabiliser la prolifération des manipulations et des expérimentations : c'est la photographie calculée qui constitue une première iconographie des trous noirs. Voyons comment.

Il est évidemment très frappant que Luminet ait pu appeler *photographie calculée* cette image des trous noirs (Figure 7), qui sont des phénomènes simplement possibles, dont évidemment on ne peut capter aucune trace qui puisse les identifier. Alors pourquoi appeler l'image des trous noirs, une photo ? Pourquoi ne pas l'appeler simplement image ou visualisation calculée ? Quel est l'effet de sens de ce produit qui se présente comme le résultat du couplage d'empreintes et de calculs, de trace de quelque chose et du calcul des possibles ?

En même temps que les possibles constitutions diagrammatiques se pluralisent — on pourrait dire que le tracé diagrammatique fonctionne comme une *multiplication identitaire* — apparaît la nécessité de les inscrire en une seule identité. Comme on le sait grâce aux études sur la rhétorique de la science (Bastide 2001), à la fin d'un article, il faut stabiliser en une forme iconique l'objet de la recherche. L'iconographie de la photographie calculée est censée devenir le *centre de gravitation identitaire de ces manipulations des possibles* qui puisse provisoirement figer en une identité unique la pluralité des opérations mathématiques. Si le diagramme est une icône qui engendre un mouvement dans son intérieur, puisqu'il est une image *manipulable et opérationnelle*, bref un lieu de travail, la conception doxastique qu'on a de la photo en tant qu'empreinte qui fige les *possibles fuyants* répond à l'exigence du scientifique de proposer une *identité stable* à ces manipulations de valeurs mathématiques.

On peut donc faire l'hypothèse que cette image est appelée photo pour signaler qu'elle fonctionne comme l'empreinte stabilisant les multiples visualisations diagrammatiques des différents paramètres qui nous font connaître les fonctionnements de ces objets théoriques. En figeant les séries d'opérations et de manipulations, la photo leur donne une existence stable que les trous noirs ne

pouvaient pas avoir lorsqu'ils étaient encore « opératoires » — et, d'une certaine manière, « fuyants ». L'image finale fonctionne rhétoriquement comme figement des possibles, comme un arrêt sur les opérations qui pourraient ultérieurement se développer, bref elle permet la constitution d'*un objet* scientifique. Le remplissage de l'espace « vide » des diagrammes, espace opératif, par des nuances chromatiques, ne fait qu'ancrer ses opérations constitutives en une icône qui puisse faire la moyenne des opérations accomplies et visualiser une pluralité de trous noirs — cette pluralité de l'objet représenté est d'ailleurs signifiée par le pointillé et le dégradé qui « multiplient » les contours du gouffre⁴⁹.

Dans l'article de recherches en question, l'iconographie finale des trous noirs s'appelle enfin *photo* parce qu'elle fige cette pluralité possible en un objet, et *calculée* parce qu'elle est justifiée et justifiable par des calculs mathématiques. Elle est d'une certaine manière une empreinte « nécessaire », qui ne pourrait être que ce qu'elle est. Nous sommes revenus à la question de la démonstration visuelle obtenue par diagrammatisation.

5.2. *L'autographie de la vulgarisation*

On pourrait avancer l'hypothèse que cette photographie fonctionne comme une image autographique par rapport aux visualisations diagrammatiques qui fonctionnent par contre comme des dispositifs plutôt allographiques.

Comme nous l'avons dit auparavant, une image est autographique si elle témoigne d'une configuration originale, unique et non-répétable, comme c'est le cas des tableaux où c'est l'unicité du parcours sensori-moteur du producteur qui fait sens⁵⁰. L'image autographique est syntaxiquement et sémantiquement dense, à savoir chaque trait est pertinent pour sa signification et son identité. Cette idée, qui suit les suggestions de Goodman, recouvre ce que nous appellerons une *autographie inchoative*, ou bien *productive* voire qui dépende de la pratique génétique de l'image elle-même.

En ce qui concerne l'allographie, il s'agit par contre d'un régime d'images qui visent simplement la *visualisation* des données, elles sont donc des images *manipulables* par d'autres chercheurs, reproductibles avec des variantes de paramétrage ou bien des filtres et qui, par conséquent, ne constituent pas des iconographies stables⁵¹. C'est ce que nous avons discuté dans la première section avec l'exemple des visualisations des astres. Elles peuvent être considérées comme des images qui donnent des instructions pour des manipulations ou des constructions ultérieures.

49. Pour une étude plus approfondie de ces diagrammes mathématiques je me permets de renvoyer à Dondero (2009f).

50. Le tableau prend sa valeur de l'originalité et de l'unicité non répétable, d'ailleurs en peinture chaque copie est un faux par définition.

51. Sur les différentes visualisations des mêmes données en astrophysique des hautes énergies voir l'article de Nazé (2010).

Il est évident que la photographie calculée des trous noirs ne peut être considérée ni comme une image appartenant à l'autographie inchoative ni à l'allographie des visualisations. Elle est simplement le figement en une *identité d'objet* de tous les parcours de visualisation pertinents et possibles et qui partagent un statut allographique. Il s'agit donc d'une autographie que nous appellerions *terminative*, voire une autographie non plus inchoative et productive, mais vouée à la réception, à savoir à une fixation visuelle construite pour donner une *existence institutionnelle* à un objet (ou à des objets) à l'intérieur de la communauté scientifique. Cette autographie terminative est produite par une procédure de figement des formes allographiques qui deviennent stables et qui se présentent au public comme définitives, denses, non-manipulables. En fait, il s'agit d'une autographie obtenue par stabilisation et institutionnalisation des formes diagrammatiques qui deviennent donc (provisoirement) uniques et non manipulables. Le fait que la photographie calculée des trous noirs ne permet plus de contrôler ses dispositifs énonciatifs montre bien qu'elle est devenue une image presque auratique, à l'instar des tableaux artistiques⁵².

Si, donc, l'autographie caractérise les productions visuelles de statut artistique, par contre l'aller-retour entre autographie et allographie est typique de l'image scientifique qui joue entre la manipulabilité allographique et la stabilisation et institutionnalisation autographiques des formes.

Les images finales telle que cette photographie calculée excluent la publicisation des échelles et des valeurs dont elles proviennent : même si cette image est produite par le biais d'une composition de visualisations partielles et allographiques (ce qu'on a appelé les diagrammes mathématiques des trous noirs), elle tend à nous le faire oublier : elle cache ses moyens de fabrication et se manifeste comme une image finale et définitive *chosifiant un objet de recherche* — et l'offrant ainsi à la vulgarisation. Sur cet objet elle veut offrir le dernier mot, au-delà duquel on ne va pas : c'est pour cela qu'elle supprime toute référence à des paramètres qui pourraient la rendre encore manipulable et opérative. Cela arrive aussi avec les tableaux et d'autres œuvres d'art : en art on signe la toile pour affirmer que chaque trait est le bon, le définitif, et qu'on ne peut plus rien modifier la signature est une manière de sacraliser le tableau et par conséquent d'exclure toutes les esquisses faites et refusées en tant qu'épreuves ainsi que les possibles contrefaçons futures. Dans le cas de la photographie calculée on supprime les mesures et les échelles, bref toutes les références à l'énonciation : cette suppression permet de « muséifier » les résultats des investigations qui les ont constituées — dans notre cas, les dispositifs diagrammatiques qui peuvent être conçus comme des « esquisses ». Il y a finalement un rapport étroit entre le régime de la stabilisation/institutionnalisation d'un objet scientifique voire de la vulgarisation scientifique et celui de l'œuvre d'art. Dans les deux cas, l'image se manifeste comme quelque chose sur quoi on a mis le mot « fin »⁵³.

52. Sur l'autographisation de l'image médicale dans un cadre muséal voir Colas-Blaise (2011).

53. Pour l'objet artistique c'est le mot fin définitif, dans le cas de l'objet scientifique il ne s'agit que d'une fin provisoire.

Mais ce n'est pas tout. Si la muséification des formes en science concerne un *devenir-objet* des expériences, et plus précisément un devenir-autographique d'un objet de recherche — qu'on pourrait appeler le *devenir autographique d'une recherche scientifique* —, nous voudrions à présent faire quelques petites remarques sur la tradition iconographique de cette image calculée, tradition qui dérive non seulement d'une « déformation » de l'iconographie scientifique de Saturne (voir Luminet 2006 et Dondero 2007) mais aussi d'une tradition qu'on peut considérer comme faisant partie du statut artistique. En fait, les manifestations éidétiques et chromatiques de la photographie calculée renvoient à la tradition de la soi-disant photographie spirite et, plus précisément, à la photographie des fluides énergétiques des vivants mais plus souvent des morts évoqués par des médiums⁵⁴. Comme l'a remarqué Carl Havelange lors d'une réunion scientifique à l'Université de Liège⁵⁵, les pointillés, le flou et le dégradé sont des stratégies énonciatives utilisées par ce type de photographie pratiqué fin 19^e, début 20^e siècle afin de témoigner d'une présence dont le statut est incertain. Il s'agissait de présences phantasmiques ou de présences auratiques qui sont, selon le vocabulaire benjaminien, des présentifications de quelque chose d'absent, de passé ou de lointain qui se manifestent à travers des halos ou d'autres configurations évanescentes de la matière⁵⁶. Du côté de la photographie spirite l'opposition semi-symbolique entre le halo auratique et la netteté est liée à une opposition sur le plan du contenu entre une présence au statut incertain (trace du transcendant) et la présence matérielle bien identifiable dans un ordre de réalité tout à fait quotidien (immanence). Dans le cas de la photographie calculée il s'agit plutôt d'une opposition sémantique entre ce qui est seulement possible et ce qui est stabilisé dans la théorie, c'est-à-dire confirmé par d'autres phénomènes mieux connus. Ou mieux, en l'occurrence, entre ce qui est pluriel et encore opératif et ce qui est davantage stabilisé en tant que noyau dur de tous les trous noirs. Mais dans les deux cas il s'agit, avec le halo, de représenter une présence possible; dans un cas c'est la promesse d'une communication future (c'est la personne morte qui revient, évoquée par des médiums), dans le second cas il s'agit d'une opérativité expérimentale passée — les pistes possibles sont à la base de cette image, tout en ayant perdu leur capacité de proliférer.

Nous allons à présent vers la deuxième partie de cette section qui se propose de prendre en compte l'image artistique comme ancêtre de l'iconographie scientifique. Comme nous venons de le voir dans le cas de l'article de recherche il s'agit seulement d'une parenté faible entre pratiques artistiques et scientifiques. On a appelé la première parenté le *devenir autographique d'une recherche scientifique*,

54. Voir à ce sujet Cheroux et alii (2005).

55. Discussion lors du colloque « La lettre et l'image. Enquêtes interculturelles sur les territoires du visible », Université de Liège (15–17 décembre 2009) organisé par Carl Havelange, Lucienne Strivay et Maité Molina Marmol. Je remercie les participants à cette journée d'étude pour leurs suggestions.

56. Voir à ce sujet Dondero (2005) et Dondero (2009e).

on pourrait appeler la deuxième, que nous allons présenter, l'*emprunt de solutions artistiques par l'iconographie scientifique*. Par contre, il s'agit cette fois d'un ouvrage de vulgarisation et d'une parenté bien plus fondamentale, où l'image artistique peut servir à concevoir l'objet de recherche scientifique.

5.3. *L'art et les fondements de la recherche scientifique*

Quand la vérité demande trop de minutie, quand elle est trop inégale ou ne s'accorde pas facilement avec d'autres principes, on peut choisir le mensonge le plus proche pourvu qu'il soit raisonnable et éclairant (Goodman, 1978, p. 168).

On vient de voir que les images artistiques ont quelque chose en commun avec les images qui, en sciences, stabilisent les résultats pour les offrir comme résultat final, évidemment provisoire, d'une recherche qui trouve un achèvement partiel. Ces images qui se présentent comme point final sont aussi les images normalement retenues par les publications de vulgarisation comme identifiant l'objet de référence.

La vulgarisation est le genre rhétorique par excellence car elle doit savoir construire une plasticité cognitive des objets de la recherche scientifique pour en faire des objets déformables dans des représentations le plus possible concevables dans le monde de la vie quotidienne. Les ouvrages de la vulgarisation savante sont les lieux des arrangements cognitifs par excellence : ils sont lus par des collègues de la même discipline qui ne sont pas de spécialistes de la matière spécifique traitée, et ils doivent pouvoir être lus aussi par des collègues des disciplines limitrophes.

Venons-en plus précisément aux ouvrages de vulgarisation qui traitent des trous noirs. Dans les ouvrages de vulgarisation savante, les images des trous noirs sont censées représenter la vision *fictive* qu'un observateur en chair et os tombant dans un trou noir pourrait avoir. En fait, dans les chapitres de l'ouvrage de Jean-Pierre Luminet, *Le destin de l'Univers. Trous noirs et énergie sombre* de 2006 (écrit donc bien 27 ans après l'article qu'on vient d'examiner), on est face à un tout autre parcours d'argumentation et d'explication de l'iconographie et du fonctionnement des trous noirs que dans les articles de recherche.

Les deux différences les plus évidentes entre les deux textes concernent premièrement le fait que dans la vulgarisation on essaie de rétablir un rapport entre l'objet de recherche scientifique et l'échelle du corps humain, voire la sensori-motricité liée à la vision, et deuxièmement le fait que les équations ont totalement disparu : toutes les images et les schémas rencontrés dans ces chapitres ont perdu toute référence stricte à des procédés mathématiques d'instanciation. Ce sont des images d'un tout autre genre qui se substituent aux équations mathématiques. On trouve aussi des images artistiques à proprement parler ou des images illustrant des ouvrages littéraires. Les images de ce genre, insérées dans l'argumentation scientifique, sur lesquelles nous voudrions porter l'attention, sont au nombre de deux.

La première reprend le système de représentation de l'artiste hollandais Maurits Escher et est retravaillée par Luminet (Figure 9) qui, de l'artiste, valorise l'espace construit sur des inconséquences topologiques effrayantes et sur des architectures illogiques et non praticables pour montrer que le trou noir est un espace vertigineux, dévorant et duquel rien ne pourrait ressortir. Escher est d'ailleurs l'artiste qui plus que tout autre a su décrire l'ouverture vers le vide, la montée qui se transforme en une chute aspirée; en un mot, il est l'artiste du vertige, ce qui convient parfaitement à la mise en scène des trous noirs.

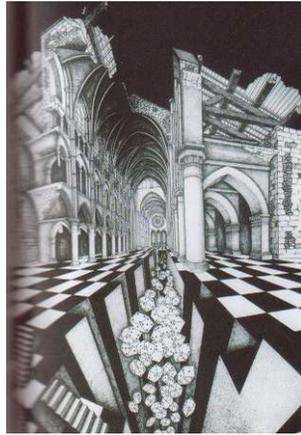


Fig. 9. Jean-Pierre Luminet, *Le Trou noir*, lithographie et dessin, 66 x 91cm, 1992.
Image reproduite avec l'autorisation de l'auteur.

La deuxième est un dessin de A. Rackham extrait d'un conte de l'écrivain E.A. Poe contenu dans *Tales of Mystery and Imagination* (Figure 10) qui représente un vortex incessant qui dévore et nivelle tout.



Fig. 10. Illustration de A. Rackham (parue dans E.A. Poe, 1935).

Ces images font partie de ce qu'on a appelé l'autographie productive : elles ne sont pas des images reproductibles à travers de paramètres expérimentaux, elles font par contre part de notre histoire artistique et culturelle. Elles sont non manipulables et uniques, elles ont un auteur.

L'image d'après Escher (Figure 9) nous modalise comme des spectateurs voyant un gouffre s'ouvrir sous nos yeux, à nos pieds, prêts par conséquent à plonger dans le vide.

Les dés qui tombent dans le gouffre mettent en scène la tentative scientifique de brider le hasard en le rapportant à des résultats contrôlables (la combinaison des six faces du cube). Le fait qu'il s'agisse de dés n'est pas dû au hasard : ils représentent l'objet à travers lequel on peut tenter de calculer ce qui est en train de se passer et qui paraît être complètement incompréhensible. Emportés par la force attractive du trou noir, les dés entrent et tombent dans une fissure tectonique ; les dés qui tombent représentent donc le point-limite de la calculabilité scientifique car à l'intérieur de ce gouffre il manquera un plan d'appui et ils ne pourront plus se stabiliser en une position qui manifeste un résultat. Ces dés se révèlent comme une métonymie de tous les éléments prothésiques de l'être humain qui visent à brider l'indétermination. Mais les faces des dés deviennent de plus en plus indiscernables et ils exemplifient l'impossibilité de calcul et de prévision. À travers un raisonnement figural, ces dés mettent en scène le trou noir en tant que mouvement chaotique qui ne permet même pas une position d'observation statistique de ses turbulences. Leur pluralisation met en valeur leur fonctionnement en tant que matériaux pour édifier des architectures théoriques possibles : leur chute est la débâcle de toute construction et tout contrôle. D'une certaine manière, ces dés disparaissant dans le trou montrent non seulement le fonctionnement de la force d'engloutissement provoquée par le trou noir (énoncé scientifique), mais les difficultés auxquelles doit faire face le scientifique pour concevoir un espace qui refuse tout contrôle (énonciation scientifique).

Dans l'image de Rackham (Figure 10) on est déjà plongés dans un stade ultérieur de la chute : la perspective est inclusive, nous, les spectateurs, sommes au bord du gouffre qui va nous inclure : nous allons être entraînés par le remous ; les objets qui sont déjà dans le vortex ont perdu le sens du bas et du haut. Ici le tourbillon est pour nous, les spectateurs, irrésistible. On pourrait affirmer que l'image de Escher est « propédeutique » à l'image de Rackham, qui l'accomplit, même à travers d'autres stratégies figuratives.

Si on suivait la doxa, on pourrait affirmer qu'à l'origine de toute hypothèse scientifique, dans le cas des objets théoriques, il y a le monde mathématique des équations, et qu'ensuite il y a la vulgarisation, faite par des citations littéraires et d'images artistiques qui font intervenir la fantaisie. Mais en lisant l'ouvrage de Luminet on s'aperçoit que les images artistiques ne visent pas à *simplifier* les prises de positions théoriques. Elles visent au contraire à *exemplifier* visuellement des conflits de forces qui sont au cœur de la théorisation sur les trous noirs par le

biais d'une transposition figurative et plastique qui permet de rendre *perceptibles* les théories sur la relativité étant à la source des hypothèses des trous noirs, à savoir les tensions entre la perte d'orientation et la recherche de repères, entre l'engloutissement et des stabilisations proprioceptives provisoires. Ces images sont utilisées pour rendre *analogiquement* saisissables des perceptions possibles.

Outre ces images appartenant à un statut artistique ou à l'illustration littéraire, cet ouvrage accueille aussi des textes littéraires sous formes de citations comme dans le cas du poème d'E.A. Poe. En fait tout au long de la description du voyage fictif près du centre du tourbillon du trou noir, à savoir tout au long du texte principal de l'explication, Luminet laisse la parole à des extraits des contes des *Tales of Mystery and Imagination* d'E.A. Poe. Luminet attaque la description de la force irrésistible du trou noir en affirmant : « Alors, à 20Km/h les cercles des navigations plongent tellement dans la gueule du tourbillon que, comme l'écrit E.A. Poe "si un navire entre dans la région de son attraction, il est inévitablement absorbé et entraîné au fond et, là, déchiré en morceaux" » (p. 270).

Toute la description de Luminet est accompagnée par des citations provenant des plus célèbres poètes et romanciers de tous les temps. Je vous donne quelques exemples. Dante : « Vous qui entrez ici, laissez toute espérance » (p. 260) ; E.A. Poe : « Je fus possédé de la plus ardente curiosité relativement au tourbillon lui-même. Je sentis positivement le désir d'explorer ses profondeurs, même au prix du sacrifice que j'allais faire ; mon principal chagrin était de penser que je ne pourrais jamais raconter à mes camarades les mystères que j'allais connaître » (p. 264) ; autre citation toujours de E.A. Poe : « Mais il me reste peu de temps pour rêver à ma destinée ! Les cercles se rétrécissent rapidement — nous plongeons follement dans l'étreinte du tourbillon — et, à travers le mugissement, le beuglement et le détonement de l'Océan et de la tempête, le navire tremble — oh ! Dieu ! — il se dérobo, il sombre ! » (p. 268) ; Rimbaud : « La plaque du foyer noir, de réels soleils de grèves : ah ! puits de magies » (p. 277).

Nous voyons que, en progressant d'une citation littéraire à l'autre, ainsi qu'en progressant d'une image artistique à l'autre, la description de la chute se précise de plus en plus, ainsi que les effets sur notre perception sensori-motrice. Il s'agit dans les deux cas d'un régime perceptif extrême exprimant la peur de l'abyme sans fond, maintes fois pensé, visualisé, disserté, mis en valeur par des modèles culturels — provenant du monde des arts plastiques et de la littérature, mais aussi de la psychologie et de l'anthropologie. Ce sont ces modèles culturels qui deviennent la source de la pensée scientifique et qui permettent d'envisager la *concevabilité* de la théorie qui *seulement ensuite* produit les hypothèses à vérifier et *seulement ensuite* produit la cascade d'équations qui, de leur côté, produiront l'iconographie de la photo calculée⁵⁷.

57. La photographie calculée qu'on a analysée réapparaît dans l'ouvrage de vulgarisation de Luminet de 2006. Elle a quitté son statut d'image autographique (au sens terminatif) car elle est devenue l'image-source d'une série d'images (huit « prises de vue ») qui développe — au sens

5.4. L'exemplification figurale

Il nous semble que l'iconographie artistique vient en aide au parcours strictement scientifique du premier article de 1979 parce qu'elle permet de contribuer à l'*exemplification figurale* du fonctionnement des trous noirs. L'exemplification figurale se fonde sur l'exemplification métaphorique de Nelson Goodman qui a essayé de substituer la centralité de la notion de *dénotation* en tant que renvoi du langage, visuel également, à un monde de référence avec le concept d'*exemplification* justement. Comme l'affirme Pierluigi Basso Fossali (2008) le concept d'exemplification nous permet de prendre en compte le médium linguistique (au sens large, sémiotique) comme un passage essentiel pour constituer des échantillons d'un monde auquel on ne peut attribuer une signification qu'en le constituant — c'est le cas des nos images artistiques, qui permettent de concevoir/constituer un monde auquel la connaissance expérimentale n'a pas véritablement d'accès.

Les images artistiques doivent donc être conçues comme des objets culturels fonctionnant comme des échantillons de mondes qui exemplifient des propriétés d'un objet (la vitesse d'engloutissement, l'effet de tourbillon, la non possibilité de retour, etc.). Bien sûr l'image artistique ne possède pas les mêmes capacités de *génération, manipulation, généralisation* qui caractérisent les équations ; mais d'un point de vue rhétorique l'image artistique, qui est une image allotopique au sein du discours scientifique, *s'y projette* en gardant en mémoire son potentiel sémantique. D'ailleurs tout scénario de valeurs, associé à un domaine social (scientifique, artistique, religieux, etc.), n'est pas suffisant à lui-même et l'exemplification figurale est censée *remplir les manques de bases et de fondements de chaque domaine*.

La charge allotopique des iconographies artistiques au sein du discours scientifique nous demande d'activer une tension entre scénarios différents : c'est comme si un point de vue anamorphique permettait de déplacer la non-congruence du paysage figuratif des images artistiques dans un autre paysage qui l'englobe et l'intègre pour rejoindre une nouvelle intelligibilité, un espace tiers qui n'est pas intratextuel et tourné vers lui-même (comme dans le cas des diagrammes), mais bien intertextuel et tourné vers la mise en relation de deux domaines de valeurs.

L'image artistique se révèle dans ce cas comme une image mise en perspective en offrant à la science des trous noirs une « experientialité » virtuelle. Si normalement, pour détecter des phénomènes qui pourraient concourir à l'identification d'un phénomène comparable aux hypothèses que l'on fait sur les trous noirs, on utilise les prothèses et les instruments les plus éloignés et abstraits du corps humain

cinématographique — l'effet d'engloutissement progressif vu par un observateur fictif qui est pris dans le trou noir. D'une certaine manière on pourrait dire que cette série d'images propose un processus qui résout l'écart statutaire entre le domaine de l'art et le domaine de la science : la sérialité met en jeu les visualisations allographiques (typiques des diagrammes) qui sont censées être manipulées par une collectivité, d'une part, et la valorisation du parcours perceptif d'un observateur (typique des images artistiques), de l'autre.

(l'astronomie gamma en l'occurrence), l'image artistique peut assurer, à travers une anaphore fulgurante, un retour à l'incarnation. L'image artistique incarne la perception-action de parvenir enfin à se rapprocher du trou noir qui se charge ainsi de valeur relationnelle : sa valeur devient celle de *pouvoir le rejoindre*.

Nous pourrions affirmer, enfin, que dans l'article de recherches que Luminet avait publié en 1979, l'attention portée sur la relation entre équations et visualisations se concentrait sur la recherche des liens et des justifications entre étapes du processus de *référentialisation*. Dans ce cas la référence en question était construite par la théorie de la relativité générale, partagée par tous les collègues qui étaient censés lire l'article, et il n'était pas nécessaire de la justifier en tant que source de l'article sur les trous noirs. Dans l'ouvrage de 2006, au contraire, la communauté des possibles lecteurs s'élargit et Luminet tend ici à construire une véritable archéologie de l'être concevable même du trou noir : toutes les références à la littérature et à l'histoire de la culture se justifient à travers cette nécessité de remonter à l'origine de la référentialisation, une origine partageable. On s'aperçoit ainsi que dans la vulgarisation il ne s'agit plus de rendre explicite les connexions et les liens entre étapes du parcours de référentialisation, mais bien au contraire de justifier en amont l'origine d'une hypothèse et d'en trouver les traces dans notre univers culturel. Paradoxalement, l'image artistique permet au lecteur de l'ouvrage scientifique de faire un *pas en arrière* sur les fondements de ces recherches scientifiques : si dans l'article de recherche les fondements de la référentialisation ne concernent que la théorie de la relativité générale et les équations qui en découlent, dans l'ouvrage de vulgarisation les fondements de la référentialisation vont plus loin et concernent des configurations sémiotiques fondées sur des formes de vie de notre culture. Ces images artistiques, allotopiques par rapport à la procédure strictement scientifique, montrent que Luminet engendre une réflexion sur l'origine culturelle de l'image fabriquée à la fin des années 70 et sur les savoirs stratifiés dans la compétence du lecteur en tant que source de sa théorisation.

6. Quatrième problématique

Non moins sérieusement que les sciences, les arts doivent être considérés comme des modes de découverte, de création et d'élargissement de la connaissance au sens large d'avancement de la compréhension, et la philosophie de l'art devrait alors être conçue comme partie intégrante de la métaphysique et de l'épistémologie (Goodman, 1978, p. 146).

Dans cette quatrième et dernière section de notre travail nous allons nous consacrer à l'exploration de la relation entre arts et sciences, en partant de quelques

réflexions générales⁵⁸, et ensuite en abordant quelques exemples. Nous visons surtout la discussion des questions liées aux rapports de l'art avec les mathématiques en abordant cette question : est-ce que les mathématiques, étant les alliées des sciences, représentent les langages les plus éloignés des arts ? Ces questions ont été abordées notamment par Allamel-Raffin (2011)⁵⁹, Bordron (2011) et Dondero (2011a).

Dans un article contenu dans un dossier intitulé « L'image entre arts et sciences : une sémiotique de l'attirance », Bordron met en comparaison deux représentations du cube : l'une nous montre le dessin d'un cube utilisable dans une

58. Voir à ce sujet l'importante contribution de Colas-Blaise (2011) qui affirme : « Dans une perspective élargie, l'entre-jeu de l'art et de la science peut être modélisé par une structure tensives (Fontanille et Zilberberg 1998), qui convoque les axes continus de l'intensité (l'acuité perceptive ou conceptuelle, l'implication énonciative...) et de l'étendue (la localisation dans l'espace-temps...) et rend compte des corrélations ou variations en raison converse ou inverse l'une de l'autre. Examinant les valeurs investies, on peut esquisser une typologie des modes d'exploitation du discours scientifique par le discours artistique, qui lui réserve dans l'espace d'accueil différents modes d'existence. Ainsi, on distinguera le *contact* entre l'art et la science, qui renvoie à des degrés d'intensité et d'étendue faibles et témoigne d'une simple disposition à la collaboration énonciative. Le *questionnement* (intensité forte et étendue faible) correspond à un investissement fort : l'apport scientifique frappe par son étrangeté et suscite la réflexion ; le questionnement institue la science en objet du discours (discours *au sujet de la science*) : l'art interroge la science, par exemple la pratique du clonage ou les expériences transgénétiques. Le rôle de l'*instrumentalisation* (intensité faible, étendue forte) est d'inscrire la collaboration dans le temps et dans l'espace, en lui donnant une forme stabilisée, voire banalisée ; instrumentalisée, la science donne une impulsion au discours artistique qui se développe *selon* ou *d'après* la science. Enfin, l'*exploration*, qui met en œuvre des degrés d'intensité et d'étendue forts, tient du projet scientifico-artistique ; elle déploie un discours qui se construit *avec* ou *à travers* la science : l'art et la science entrent dans un rapport de "co-développement" ; il se peut ainsi que la créativité artistique remette le discours scientifique en perspective ».

59. Sur les différents modes d'interprétation des œuvres d'art et des sciences de la nature voir Allamel-Raffin (2011) qui affirme : « Pour que l'interprétation atteigne ces objectifs distincts, il faut mobiliser des procédures cognitives et plus précisément, des modes de raisonnement différents dans les études des œuvres d'art et dans les sciences de la nature. Dans le cas des études des œuvres d'art, l'interprétation repose essentiellement sur la procédure de raisonnement constitué par l'*analogie* ; dans le cas des sciences de la nature, l'interprétation repose sur le type de raisonnement appelé *abduction* » où l'interprétation aboutit à des réductions de la polysémie d'une image en procédant de manière abductive à l'élimination de toutes les hypothèses non pertinentes : « il faut remonter vers des causes qui ne peuvent exister en nombre infini et coexister dans la démarche scientifique. Au terme de la procédure de raisonnement abductive, un seul sens doit subsister comme pertinent ». L'auteure explique comment ces modes de raisonnements dépendent aussi de l'histoire, du fait que certains modes et certaines interprétations viennent s'ajouter et d'autres disparaissent au fil du temps. En ce qui concerne notamment les œuvres d'art, « l'interprétation est irréductiblement plurielle, ce qui ne signifie pas que toutes les interprétations se valent. Pour les évaluer, il faut mesurer leur degré de pertinence en fonction de la manière dont elles utilisent les éléments du champ interprétatif [...]. Il faut en particulier que les interprétations recevables prennent en compte le contexte au sein duquel l'objet ou l'événement interprété est produit. Cela suppose que l'on connaisse et que l'on maîtrise les règles ayant cours au sein de ce contexte ».

démonstration de géométrie et l'autre le grand cube que Giacometti a sculpté en 1934. L'auteur montre comment ces deux cubes, tout en semblant identiques car ils ont tous deux à voir avec une figure géométrique dans l'espace (un polygone), se révèlent dissemblables car leurs modes d'existence sont radicalement distincts. En analysant leur rapport avec l'espace qui les entoure, Bordron distingue le cube de Giacometti qui doit être exploré selon différentes perspectives fonctionnant comme des esquisses perceptives toujours partielles, et qui se stratifient l'une sur l'autre à travers une mémoire perceptive, alors que le cube géométrique, vu en transparence, offre la totalité de ses faces :

Le cube géométrique s'offre à une visibilité extrême car il doit être connu sans restriction [...] On notera, comme conséquence du même dispositif, que le cube géométrique n'a pas d'ombre portée, nulle lumière ne le donne à voir. Il est pour ainsi dire visible de lui-même, dans toutes les directions. Il ignore l'opacité de la matière et le jeu des ombres. Le point de vue d'où il est vu ne semble devoir rien cacher.

Les traits distinctifs concernent deux différentes manières d'apparition et de relation au corps. En ce qui concerne les manières d'apparition, si le cube artistique implique « un jeu d'esquisses en quête d'unité », les différentes perspectives dans lesquelles on pourrait plonger le cube mathématique construiraient des nouvelles questions et des nouvelles solutions, plus ou moins complexes, dont toutes auraient un certain caractère d'évidence rationnelle : c'est la générativité des mathématiques qui s'oppose à « l'efficacité multiple » (Didi-Huberman) de l'œuvre d'art. Il ne faut donc pas confondre le caractère inépuisable du cube matériel, inépuisable de par ses esquisses possibles et par l'infinité de ses propriétés également possibles, et l'infini des situations mathématiques envisageables (l'infini des possibles mathématiques).

En ce qui concerne la relation au corps, Bordron affirme que le cube de Giacometti semble nécessiter la présence d'un sujet percevant et agissant, tournant autour : « Le mode d'existence du cube de Giacometti ne semble pas pouvoir être compris sans cet espace de remémoration dans lequel il prend place du seul fait d'être perçu ». Par contre, le cube géométrique ne doit pas forcément être situé par rapport à un corps percevant : il n'a pas besoin d'une « bonne distance » à partir de laquelle il faut l'observer car :

L'intuition qui nous le donne n'est pas, ou pas seulement, celle de notre sensibilité, il faut aussi que soit donnée celle d'une idéalité. [...] Le corps géométrique se trouve concevable en l'absence même du corps charnel ce qui est au fond son ultime spécificité. [...] Même si l'on peut soutenir, avec de bons arguments, que la géométrie s'enracine dans l'expérience perceptive, il n'en reste pas moins qu'elle peut signifier l'espace des idéalités et c'est là ce qui la caractérise essentiellement.

Ces deux cubes se différencient donc essentiellement par le registre de la mémoire qu'ils mettent en œuvre. La mémoire liée au rapport esthétique serait pour une bonne part involontaire, éprouvable à travers les évocations qui la rendent très

personnelle et incommunicable, tandis que la mémoire présupposée par le cube mathématique est sensible (la démonstration mathématique est également un fait de perception, de l'évidence perceptive), mais ce qui la distingue de l'autre est le vecteur d'une évidence toujours renouvelable et toujours communicable dans le cadre de la démonstration⁶⁰.

6.1. *L'art et les mathématiques dans la représentation de l'Univers*

On pourrait croire, après ces réflexions, que l'image artistique n'a rien à faire avec les mathématiques. Est-ce que ce sont les mathématiques, appartenant exclusivement à la construction de l'image scientifique, qui la distinguent de l'image artistique ? Nous allons voir quelques exemples qui pourraient nous donner quelques ébauches de réponse négative à cette question. Nous essaierons de comprendre comment la topologie de l'image scientifique fonctionne par rapport à d'autres topologies dont le statut n'est pas scientifique mais artistique : ces exemples rendent difficile une tranche nette entre les types d'espace spécifiques aux statuts artistique et scientifique des images.

Nous savons bien que les images peuvent assumer, tout au long de leur histoire, des statuts différents — par statut j'entends la stabilisation institutionnelle des usages d'un texte qu'il soit visuel ou verbal ; il est donc toujours embarrassant d'identifier une fois pour toutes une image comme artistique ou scientifique, publicitaire ou documentaire. L'étude de sa biographie nous montre souvent qu'elle peut être assumée tout au long de son histoire sous différents cadres, à l'intérieur de domaines différents et surtout par les différentes traditions visuelles dans lesquelles elle s'inscrit⁶¹.

Comme plusieurs chercheurs l'ont remarqué (voir Bordron 2011)⁶², il est plus fréquent qu'une image scientifique soit assumée comme œuvre artistique que l'inverse, mais il faut nuancer cette évidence⁶³. Précisément en se demandant : est-

60. Bordron (2011) identifie deux autres types de mémoire outre celles caractérisant l'esthétique et les sciences mathématiques, sur lesquelles elles se basent également : l'une paraît garantir notre familiarité avec les objets et les états de choses du monde qui fait que nous pouvons être surpris par une discordance (mémoire paradigmatique), l'autre garantit la concordance à l'intérieur des séquences d'actions (mémoire syntagmatique).

61. Voir à ce propos Basso Fossali & Dondero (2011).

62. Bordron (2011) affirme que le détournement de l'art en connaissance est beaucoup plus difficile à concevoir que l'esthétisation d'une image scientifique et il affirme : « Lorsqu'une image, obtenue dans un contexte de connaissance, vient aborder de plus ou moins loin le domaine de l'art, c'est l'image elle-même qui semble changer de statut, quand bien même elle resterait formellement la même. Lorsque, au contraire, une image à vocation esthétique rencontre le domaine de la connaissance, elle semble suggérer un lien avec celui-ci, évoquer la possibilité d'une nature commune, mais ne pas l'établir réellement et conserver son statut esthétique. Il y a donc une dissymétrie entre les deux chemins, l'un n'étant jamais tout à fait le contraire de l'autre ».

63. Sur le double processus de l'« artistisation » de la science et de la « scientification » de l'art voir Colas-Blaise (2011) qui explore l'œuvre intitulée *Chapelle* (2006) de l'artiste Wim Delvoye,

ce que la signification de l'organisation topologique de l'image dépend de cette question statutaire, une même organisation de l'espace pouvant être assumée par n'importe quel statut? Est-ce que, vice-versa, le statut dépend de l'organisation spatiale de l'image?

Dans le cas de l'image scientifique cette organisation en principe devrait être :

1. *informative* — à savoir une organisation à partir de laquelle on peut obtenir des réponses par rapport à une question ou à un problème donné;
2. *digitalisable* — à savoir constituée par des éléments disjoints;
3. *modulable*;
4. sa genèse est censée être *reproductible* par une communauté de chercheurs.

Toutes ces caractéristiques en principe ne devraient pas être partagées par l'image artistique.

Nous précisons que nous entendons par espace modulable un espace qui peut donner existence à des modules qu'on peut imaginer comme des sous-organisations et de regroupements divers et concurrentiels de données. Il est donc différent de digitalisable, car la propriété d'être digitalisable n'est qu'une qualité nécessaire de la propriété d'être modulable, à savoir ré-organisable à travers plusieurs ordres et faisceaux de critères.

Comme nous l'avons déjà affirmé auparavant, la littérature scientifique accueille en son sein des images qui ne sont proprement scientifiques que si par image scientifique on entend qu'elle est caractérisée par les quatre spécificités énumérées toute à l'heure, et notamment que le parcours de la genèse de l'image peut être justifié et reproduit à partir des paramètres expérimentaux ou des modèles mathématiques. Deux autres types d'images sont utilisés dans la littérature scientifique : la première est l'image de statut artistique, image produite par un artiste, qui se situe dans une tradition artistique et qui est utilisée par les scientifiques notamment dans le genre de la vulgarisation savante. La deuxième est la vue d'artiste, produite par des scientifiques, par exemple des astrophysiciens graphistes qui travaillent pour la NASA⁶⁴.

installée au Musée d'Art moderne Grand-Duc Jean de Luxembourg. Au sujet, plus délicat, de la scientification de l'art, elle affirme : « à côté de l'artistisation de la science, la scientification de l'art ne se borne pas à l'exploration d'un nouveau matériau; elle ne se contente pas de relever un défi technologique — ce serait confondre la science avec la technique; elle résulte, plus fondamentalement, dans la mise en évidence et la *syntagmatisation des différentes étapes ou des paliers d'une pratique* (de création, sur le modèle de la recherche scientifique) *finalisée* » (nous soulignons).

64. Voir à ce propos Darras (2011) qui affirme que les scientifiques : « utilisent alors la mention "vue d'artiste" avec une intention performative destinée à contrecarrer l'illusion de réel. Ils déclarent indirectement et implicitement que telle image aux apparences photographiques n'a pas été produite par un appareil photographique envoyé dans l'espace mais qu'elle est une vue imaginée et produite sur terre à partir de diverses sources d'information scientifiques et des habiletés illusionnistes du graphiste. [...] Pour le lecteur, l'apparition de l'étiquette "vue d'artiste" dans le contexte scientifique provoque donc un conflit d'interprétants entre

En général, l'image artistique peut être publiée dans la littérature scientifique pour signifier le fait que les modèles d'espace expérimentés par les scientifiques peuvent avoir eu comme source d'inspiration une organisation spatiale déjà exploitée par des artistes. Certains scientifiques déclarent cette source. Pensons banalement à la Renaissance où Copernic avait été influencé par les artistes et savants italiens sur la représentation de l'espace tridimensionnel, qu'il incorporait dans son système astronomique en transformant la fenêtre de Brunelleschi en une *fenêtre mouvante* (en concevant la terre en mouvement). L'application de la perspective à la vue humaine du ciel lui permit de déterminer la structure du cosmos et les relations parmi ses constituants, ainsi que de calculer la distance entre les étoiles. La perspective est d'ailleurs un système qui permet de construire une commensurabilité entre des objets de taille et de distance divers.

Mais dans les sciences topologiques contemporaines il y a des cas encore plus intéressants. Par exemple, la cosmologie relativiste moderne a quitté l'idée que l'espace de l'univers est fait d'étoiles compréhensibles à travers différents types plus ou moins réguliers de polyèdres (prismes, rhomboïdes, etc.) (Figure 11) pour embrasser l'idée que l'espace en lui-même est polyédrique et que le cosmos en tant que totalité finie possède une structure *crystallographique* (Figure 12, Planche Ia). Ces deux images d'Escher sont utilisées par l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet dans plusieurs de ses écrits⁶⁵.

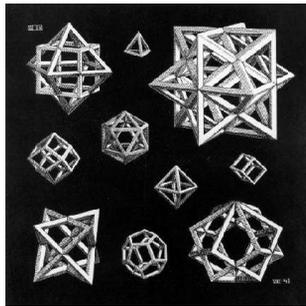


Fig. 11. M.C. Escher, *Study of Stars*, wood engraving, 1948.

ses sémoses scientifiques et artistiques. Ce conflit marque l'intrusion de la fiction, de la subjectivité, de l'artefact, de l'imprécision, de l'irresponsabilité et de l'imagination dans la sphère scientifique alors que dans ce contexte le lecteur est en droit d'attendre une relation forte à la réalité, à l'objectivité, aux faits, à la précision, aux preuves et à la garantie scientifique. [...] Dans ce cas, à partir des informations dont ils disposent, et du calcul de ce qui leur semble probable, ils produisent des conjectures sur les informations trop éloignées dans le temps et dans l'espace ou invérifiables, et ils font réaliser par des graphistes des images probables mais non directement contrôlables ».

65. Voir par exemple Luminet (2009).



Fig. 12. M.C. Escher, *Symmetry Watercolor 78*, watercolor/colored pencil, 7 7/8 x 7 7/8, 1950.

À travers la production d'Escher, Luminet (2009, p. 11) montre deux conceptions de l'espace de l'Univers : de l'image d'un espace habité d'astres qui prennent les formes de dodécaèdres ou d'autres polyèdres, aux images de l'espace dodécaédrique de Poincaré qui est visualisable à travers des topologies construites par des pavages périodiques, produites par des translations en plusieurs directions, mais aussi des rotations, des symétries axiales, des symétries glissées⁶⁶. Ces deux images exemplifient le passage intervenu dans la théorisation de la topologie cosmologique d'une organisation spatiale de l'espace de l'univers à l'autre, à savoir de la représentation d'un espace *rempli des dodécaèdres* à la représentation de l'espace *en dodécaèdre*.

Escher est bien sûr considéré comme un artiste mais ces images résultent d'expériences de la géométrie hyperbolique et sont devenues des images qui ont posé des problèmes mathématiques et qui ont fait évoluer la réflexion de la géométrie. Voyons comment.

Les modèles d'univers qui sont incarnés par cette deuxième image d'Escher sont appelés *wraparound models* : ces modèles utilisent des cubes ou des parallélépipèdes pour créer un espace toroïdal, leur propriété principale étant de se fonder sur des *symétries*. Ces symétries sont réalisées par des groupes d'holonomie selon lesquels les points correspondant à chaque face sont liés entre eux d'une manière telle que l'espace physique résulte d'un processus complexe de *repliement* sur lui-même. Ces modèles mathématiques changent beaucoup de choses en astronomie : il ne s'agit plus de penser qu'à chaque point de la lumière observable correspond une étoile spécifique, mais de penser que chaque corps céleste est représenté par un certain nombre d'images fantômes ou mirages gravitationnels (*ghost images*), ce qui veut dire que ce que nous voyons n'est pas le ciel comme il est, mais un croisement et une multiplication d'images de l'univers, à plusieurs distances et points de vue, superposées les unes sur les autres (Figure 13).

66. Sur la question des 17 pavages du plan voir les démonstrations à cette adresse : http://therese.veilleau.pagesperso-orange.fr/pages/jeux_mat/textes/pavage_17_types.htm



Fig. 13. Jeff Weeks, *Espace dodécaédrique de Poincaré* (Luminet, 2009, p. 12).

Cette image illustre l'espace dodécaédrique théorisé par Poincaré, composée par un mathématicien collaborateur de Luminet, Jeff Weeks. Il s'agit d'une vue simulée, depuis l'intérieur de l'espace dodécaédrique, dans une direction arbitraire, calculée par le programme CurvedSpaces et montrant des images multiples de la Terre obtenues par mirage topologique. Nous voyons ici les simulacres de la terre, à des distances différentes des angles des parallélépipèdes. L'effet est comparable mais non identique à ce qu'on pourrait voir de l'intérieur d'un parallélépipède dont les faces internes seraient recouvertes de miroirs, où les reflets se croisent et se multiplient. Cette méthode cristallographique a été développée pour visualiser la distribution en 3D de certaines sources de lumière : les corrélations visualisées signalent des répétitions de patterns comme dans les cristaux. Imaginons une source lumineuse à partir de notre position d'observation, immergée dans cette structure : la lumière émise devant nous croise la face du parallélépipède derrière nous et réapparaît dans la face opposée devant nous, et nous, en regardant devant nous, pouvons avoir une vision de ce qui se situe derrière nous. Même chose pour la gauche et la droite, pour le bas et le haut.

Un observateur qui vit dans l'espace dodécaédrique de Poincaré a l'illusion de vivre dans un espace 120 fois plus vaste, fait de dodécaèdres donnant un effet de carrelage. Cet espace tessellé à la manière d'un mosaïque — le terme qui le décrit en anglais est *tessellation* — résulte des transformations mathématiques qui ont été utilisées pour coller les angles par translation et formant des groupes de symétries.

Un minéralogiste russe Fedorov en 1891 avait démontré que les groupes de symétries qu'il fallait pour carreler régulièrement un plan étaient en nombre de 17, et en 1922 un archéologue, Andreas Speiser, s'aperçut que ces 17 groupes de symétries avaient été découverts *empiriquement* 4000 ans auparavant dans les arts décoratifs des mosaïques de l'Alhambra à Grenade (Figure 14, Planche Ib) :



Fig. 14. Particulier des mosaïques de l'Alhambra à Grenade : configuration à "pajarita" (cocotte en papier) dans la partie basse des murs du patio de los Arrayanes.

Les *patterns* résultaient des combinaisons de symétries simples ou complexes et toutes réductibles aux 17 groupes de symétries mathématiquement identifiés très longtemps après par le minéralogiste russe Fedorov, qui en a donné une description mathématique exhaustive.

En revenant maintenant à l'image d'Escher vue auparavant (Figure 12, Planche Ia), nous pouvons affirmer que cette image de statut artistique non seulement hérite son iconographie des groupes des symétries institutionnalisés en mathématiques, qui ont à leur tour recueilli l'héritage d'une expertise due aux arts décoratifs, mais que cette série d'images de pavage d'Escher ouvre elle-même un nouveau champ de la géométrie, appelé ensuite la *théorie des groupes de symétries polychromes* : les couleurs des patterns n'avaient pas été prises en compte par la théorie des groupes de symétries du minéralogiste russe Fedorov. Après Escher et sa série d'images qui a pour titre *The Circle Limit* (1958), ces patterns colorés ont été étudiés par Donald Coxeter, un de plus important géomètre du xx^e siècle.

Par rapport au *passage de statut de l'image artistique en image scientifique* on peut donc affirmer que ces images d'Escher ont posé des problèmes mathématiques en faisant ainsi évoluer la réflexion de la géométrie : c'est bien la *relation entre les couleurs et les symétries* qui a ouvert des nouvelles pistes de réflexions, et cela grâce aux expériences d'un artiste.

Grâce à ces exemples on s'aperçoit qu'*un même type d'organisation spatiale peut être le résultat de la visualisation de calculs ou bien le résultat d'une expertise artistique*. Ces brèves réflexions sur l'image scientifique et artistique n'ont en fait comme autre but que de montrer que l'espace calculable, mesurable, modulable, mathématisable ou mathématisée, n'identifie pas forcément la spécificité de l'image scientifique - même si, bien sûr, la mathématisation des données, par exemple des données photographiques, peut souvent la caractériser.

Avec Escher et l'Alhambra de Grenade on a été confronté à un espace repliable sur lui-même, développable à travers des translations selon des procédures figées qui sont génératrices de performances diverses : cet espace peut être exploité tant par des images de statut artistique que par des images de statut mathématique.

Chaque performance visuelle peut être utilisée à son tour comme texte d'instruction pour générer d'autres performances caractérisées par le même type de translations et rotations symétriques tant en art qu'en science. On voit bien ici que même l'image artistique peut être produite à travers des procédures d'instructions et devenir elle-même un texte d'instruction. Il paraît que dans nos exemples l'image en tant que *texte d'instruction* et l'image en tant que *performance* coïncident tant dans l'art d'Escher (qui d'ailleurs a fabriqué des séries d'innombrables images en expérimentant les différents groupes de symétries, comme dans le cas de la série *The Circle Limit*) que dans les expérimentations mathématiques. Certes, celui-ci n'est qu'un cas très particulier dans le domaine de l'art, voire un cas célèbre où la solution spatiale d'une image artistique a été à la fois l'héritier et le *précurseur empirique* d'études mathématiques, mais tout de même il montre la difficulté de faire un partage entre des caractéristiques de l'organisation spatiale pour identifier des fonctionnements spécifiques de l'art et de la science⁶⁷.

En ce qui concerne notre enquête sur l'image diagrammatique en tant qu'*image nécessaire*, on peut enfin affirmer que les images artistiques autant que les images scientifiques manifestent une certaine nécessité; dans le cas de l'image artistique il s'agit d'une nécessité qui est interne à sa configuration : il s'agit d'une nécessité qui sera figée — au sens de sacralisée — par le monde de l'art qui en fera une œuvre. Cette nécessité de l'image artistique dérive aussi d'une densité syntaxique et sémantique de sa topologie (aucun trait ne peut être déplacé faute de compromettre toute la signification de l'image et l'acte d'instanciation de l'artiste); par contre l'image scientifique manifeste une nécessité due non pas à elle-même mais à la contrôlabilité de ses paramètres de production et aux règles de transformation et manipulation qui ne lui sont pas internes mais dépendants d'une chaîne d'opérations qui l'ont précédée. Dans le cas de l'image scientifique entendue en tant que support d'expérimentation, elle attend d'être rendue opérationnelle et ensuite transformée en d'autres images (elle est un "texte d'instructions"). Sa caractéristique principale est donc d'être produite par des paramètres contrôlés et de produire d'autres images qui peuvent trouver en elle une (partielle) justification. Mais comme on vient de le voir avec la théorie peircienne du diagramme, ce n'est pas la créativité tout court qui distingue l'image scientifique de l'image artistique : il faut également concevoir dans le cas du diagramme mathématique l'élément créateur, même si réglé par des procédures et des codes de transformation.

67. D'ailleurs, on se rappellera de la conception de l'historien et théoricien de l'art Baxandall formulée dans *Formes de l'intention* (1985) et en particulier dans le § 1 : pour Baxandall, chaque organisation spatiale en art est la tentative de résoudre un problème ressenti dans une époque et dans une communauté données. En adoptant un point de vue téléologique (vs. nomologique) visant la justification des finalités d'une œuvre, le réalisateur d'un tableau est quelqu'un qui est face à un problème dont son produit se pose comme une solution qui est concurrentielle par rapport à d'autres solutions. Pour comprendre un tableau il faudra alors reconstruire le problème spécifique que le peintre visait à résoudre autant que les circonstances spécifiques (formes déjà disponibles, formes conflictuelles par rapport à la période dans laquelle il opérait, etc.) à l'intérieur desquelles il se le posait.

Références bibliographiques

- ALLAMEL-RAFFIN, Catherine (2004), *La Production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique* – Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences et des techniques, Strasbourg, Université Louis Pasteur.
- (2010), « Objectivité et images scientifiques : une perspective sémiotique », *Visible*, 6, DONDERO & MOUTAT (éds), Limoges, Pulim, pp. 9–40.
- (2011), « Un exemple d'étude comparée des procédures interprétatives à l'œuvre dans les sciences de la nature et dans l'analyse des œuvres d'art », *Arts et sciences : une sémiotique de l'attirance*, BEYAERT-GESLIN & DONDERO (éds).
- BASSO FOSSALI, Pierluigi (2006a), « Testo, pratiche e teoria della società », *Semiotiche*, 4, Turin, Ananke.
- (2006b), « Semiotica dello spazio e semantica storica del giardino », *Visible*, 2, DONDERO & NOVELLO PAGLIANTI (éds), pp. 161–205.
- (2008), *La promozione dei valori. Semiotica della comunicazione e dei consumi*, Milano, Franco Angeli.
- (2009), *La tenuta del senso. Per una semiotica della percezione*, Rome, Aracne.
- BASSO FOSSALI, Pierluigi & DONDERO, Maria Giulia (2006), *Semiotica della fotografia. Investigazioni teoriche e pratiche di analisi*, Guaraldi, Rimini, deuxième édition : avril 2008.
- (2011), *Sémiotique de la photographie*, Limoges, Pulim.
- BASTIDE, Françoise (2001), *Una notte con Saturno. Scritti semiotici sul discorso scientifico*, LATOUR (éd.), Rome, Meltemi.
- BATT, Noëlle (2004), « L'expérience diagrammatique : un nouveau régime de pensée », *Théorie, Littérature, Enseignement* n° 22 « Penser par le diagramme. De Gilles Deleuze à Gilles Châtelet », pp. 5–28.
- BAXANDALL, Michael (1985), *Patterns of Intention : On the Historical Explanation of Pictures*, Yale University Press ; tr. fr. *Formes de l'intention. Sur l'explication historique des tableaux*, Paris, Jacqueline Chambon, 1991.
- BEYAERT-GESLIN, Anne (2004), « Texture, couleur, lumière et autres arrangements de la perception », *Protée* « Lumières(s) », RENOUE (éd.), vol. 31, 3, pp. 81–90.
- (2008), « De la texture à la matière », *Protée*, vol. 36, 2 (hors dossier), pp. 101–110.
- (2009), « La photographie aérienne, *pseudo carte* et *pseudo plan* », *Visible*, 5, « Images et dispositifs de visualisation scientifique », DONDERO et MIRAGLIA (éds), Pulim, Limoges, pp. 61–76.
- (2011), « Le dessin dans le programme de restauration de l'œuvre d'art : un jeu de cache-cache », *Visible*, 7, MATTOZZI (éd.), Limoges, Pulim.
- (2012), « Images scientifique, méréologie, couleur. Une mise à l'épreuve de l'hypothèse de l'exploration », *Visible*, 8, ALLAMEL-RAFFIN et MOKTEFI (éds), Limoges, Pulim.

- BEYAERT-GESLIN, Anne, DONDERO, Maria Giulia et FONTANILLE, Jacques (éds) (2009), « Arts du faire : production et expertise », *Nouveaux Actes Sémiotiques* en ligne, <http://revues.unilim.fr/nas/sommaire.php?id=3050>.
- BEYAERT-GESLIN, Anne & DONDERO, Maria Giulia (éds) (2011), *L'image entre art et science : pour une sémiotique de l'attirance*, à paraître.
- BORDRON, Jean-François (2000), « Catégories, icônes et types phénoménologiques », *Visio*, vol. 5, 1, pp. 9–18.
- (2004), « L'iconicité », *Ateliers de sémiotique visuelle*, HÉNAULT et BEYAERT-GESLIN (éds), Paris, P.U.F, pp. 121–154.
- (2006), « Sens et signification : dépendances et frontières », in *L'Image entre sens et signification*, BEYAERT-GESLIN (éd.), Paris, Publications de la Sorbonne, pp. 187–207.
- (2009), « Expérience d'objet, expérience d'image », *Visible*, 5, « Images et dispositifs de visualisation scientifique », DONDERO et MIRAGLIA (éds), Pulim, Limoges, pp. 111–122.
- (2010), « Rhétorique et économie des images », *Protée*, 38, vol. 1, « Le Groupe μ entre rhétorique et sémiotique. Archéologie et perspectives », BADIR & DONDERO (éds), pp. 27–40.
- (2011), « Image esthétique, image mathématique », *Arts et sciences : une sémiotique de l'attirance*, BEYAERT-GESLIN & DONDERO (éds).
- (2012), « Image, événement, présupposition », *Visible* 8, ALLAMEL-RAFFIN et MOKTEFI (éds), Limoges, Pulim.
- BOURDIEU, Pierre (2001), *Science de la science et réflexivité. Cours du Collège de France 2000–2001*, Paris, éd. Raisons d'agir.
- BRUNET, François (2000), *La Naissance de l'idée de photographie*, Paris, PUF.
- CHÂTELET, Gilles (1993), *Les Enjeux du mobile. Mathématique, Physique, Philosophie*, Paris, Seuil.
- CHEROUX, Clément *et al.* (2005), *Le Troisième œil. La photographie et l'occulte*, Paris, Gallimard.
- CHAUVIRÉ, Christiane (2008), *L'Œil mathématique. Essai sur la philosophie mathématique de Peirce*, Paris, éditions Kimé.
- COLAS-BLAISE, Marion (2011a), « L'art au risque de la science : les vitraux radiographiques de Wim Delvoye », *Arts et sciences : une sémiotique de l'attirance*, BEYAERT-GESLIN & DONDERO (éds).
- (2011b), « De la démonstration image(ante) à la démonstration par l'image. Régimes de l'image (scientifique) et énonciation », *Nouveaux Actes Sémiotiques* en ligne, n° 114. Disponible sur : <<http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=3748>> (consulté le 02/02/2011).

DARRAS, Bernard (2011), « Etude sémiotique de la “vue d’artiste” dans l’illustration scientifique », *L’Image entre art et science : une sémiotique de l’attraction*, BEYAERT-GESLIN & DONDERO (éds).

DONDERO, Maria Giulia (2005), « L’iconographie de l’aura : du magique au sacré », *E/C, Rivista dell’Associazione Italiana di Studi Semiotici* (A.I.S.S.) en ligne, disponible à cette adresse : <http://www.ec-aiss.it/>, mis en ligne le 02/08/2005.

— (2007), « Les images anachroniques de l’histoire de l’univers », *E/C Rivista dell’Associazione Italiana di Studi Semiotici* (A.I.S.S.) en ligne; disponible à cette adresse : <http://www.ec-aiss.it/>, mis en ligne le 10/09/07, 20 p.

— (2008), « Les supports médiatiques du discours religieux », *Nouveaux Actes Sémiotiques en ligne*, « Vers une sémiotique du médium », BOUTEILLE et MITROPOULOU (éds). Disponible sur : <http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=2731>, 12, 12 p.

— (2009a), « L’iconographie des fluides entre science et art », in *Le Sens de la métamorphose*, COLAS-BLAISE & BEYAERT-GESLIN (éds), Limoges, Pulim, pp. 255–275.

— (2009b), « La stratification temporelle dans l’image scientifique », *Protée* vol. 37, 3, « Regards croisés sur les images scientifiques », ALLAMEL-RAFFIN (éd.), pp. 33–44.

— (2009c), « Le texte et ses pratiques d’instanciation », *Nouveaux Actes Sémiotiques en ligne* « Arts du faire : production et expertise » (BEYAERT-GESLIN, DONDERO, FONTANILLE, (éds)). Disponible à l’adresse : <http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=3098>

— (2009d), « Image scientifique et énonciation du temps », *Visible*, 5, « Images et dispositifs de visualisation scientifique », DONDERO et MIRAGLIA (éds), Pulim, Limoges, pp. 123-147.

— (2009e), *Le Sacré dans l’image photographique. Études sémiotiques*, Paris, Hermès Lavoisier.

— (2009f), « L’image scientifique : de la visualisation à la mathématisation et retour », *Nouveaux Actes Sémiotiques en ligne*, Recherches sémiotiques. Disponible sur : <<http://revues.unilim.fr/nas/document.php?id=2907>> (consulté le 08/04/2009).

— (2009g), « The Semiotics of Scientific Image : from Production to Manipulations », *The American Journal of Semiotics*, vol. 25, n^{os} 3–4, pp. 1–19.

The Semiotics of Scientific Image: from Production to Manipulation

— (2010), « L’indicialité de l’image scientifique : de la constitution de l’objet à sa manipulation », *Visible*, 6, DONDERO & MOUTAT (éds), Limoges, Pulim.

— (2011a), « Rhétorique des pratiques », *Semen*, « Épistémologie et éthique de la valeur : du sémiotique au rhétorique (et retour) », BADIR, DONDERO et PROVENZANO (éds).

— (2011b), « Perception et image scientifique », à paraître.

FISETTE, Jean (2003), « Icône, hypoicône et métaphore. L’avancée dans l’hypoicône jusqu’à la limite du non-conceptualisable », *RSSI Recherches sémiotiques/Semiotic Inquiry*, vol. 23, 1-2-3, pp. 201–220.

FLOCH, Jean-Marie (1986), *Formes de l’empreinte*, Périgueux, Pierre Fanlac.

- (1990), *Sémiotique, marketing et communication. Sous les signes, les stratégies*, Paris, P.U.F.
- (1995), *Identités visuelles*, Paris, PUF.
- FONTANILLE, Jacques (1998), « Décoratif, iconicité et écriture. Geste, rythme et figurativité : à propos de la poterie berbère », *Visio* vol. 2, 3, pp. 33–46.
- (1999), « Modes du sensible et syntaxe figurative », *Nouveaux Actes Sémiotiques*, 61–63, Limoges, Pulim.
- (2004), *Soma et séma Figures du corps*, Paris, Maisonneuve et Larose.
- (2005), « Du support matériel au support formel », in *L'Écriture entre support et surface*, ARABYAN & KLOCK-FONTANILLE (éds), L'Harmattan, pp. 183–200.
- (2007), « Les systèmes d'imagerie scientifique. Questions sémiotiques », *E/C, Rivista dell'Associazione italiana di semiotica* en ligne, article mis en ligne le 2 mai 2007.
- (2008), *Pratiques sémiotiques*, Paris, PUF.
- (2009), « Le rôle des visuels dans un article de revue scientifique », *Protée* vol. 37, 3, « Regards croisés sur les images scientifiques », ALLAMEL-RAFFIN (éd.), pp. 105–116.
- GALISON, Peter (1997), *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*, Chicago, The University of Chicago Press.
- GIARDINO, Valeria & PIAZZA, Mario (2008), *Senza parole. Ragionare con le immagini*, Milan, Bompiani.
- GIARDINO, Valeria (2010), « À la recherche de l'objectivité : les images dans la pratique scientifique », *Visible*, 6, DONDERO & MOUTAT (éds), Limoges, Pulim.
- GOODMAN, Nelson (1968), *Languages of Art*, London, Bobbs Merrill; tr. fr. *Langages de l'art. Une approche de la théorie des symboles*, Paris, Hachette, 1990.
- (1978), *Ways of Worldmaking*, Hackett Publishing Company; tr. fr. *Manières de faire des mondes*, Paris, Jacqueline Chambon, 1992.
- GREIMAS, Algirdas Julien & COURTÉS, Joseph (1979), *Sémiotique. Dictionnaire raisonné de la théorie du langage*, vol. I, Hachette.
- Groupe μ (1992), *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Seuil.
- (1996), « The scientific image », *Scientific visualization. An anthology*, MICHELSEN, A. et STJERNFELD, F. (éds), s.l. [Copenhague], Akademisk Forlag, pp. 205–217.
- GOODWIN, Charles (1994), « Professional Vision », *American Anthropologist* vol. 96, 3, pp. 606–633. Disponible sur : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/94prof_vis.pdf
- (1995), « Seeing in Depth », *Social Studies of Science*, vol. 25, 2, pp. 237–284. Disponible sur : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/95see_depth.pdf

- (1996), « Transparent Vision », in *Interaction and Grammar*, OCHS, SCHEGLOFF and THOMPSON (éds), Cambridge, Cambridge University Press, pp. 370–404. Disponible sur : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/96trans_vis.pdf
 - (1997), « The Blackness of Black : Colour Categories as Situated Practice », in *Discourse, Tools and Reasoning : Essays on Situated Cognition*, RESNICK, SÄLJÖ, PONTECORVO, & BURGE (éds), pp. 111–140, Berlin, Heidelberg, New York, Springer. Disponible sur : <http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/97black.pdf>
 - (2000), « Practices of Seeing : Visual Analysis. An Ethnomethodological Approach », in *Handbook of Visual Analysis*, VAN LEEUWEN & JEWITT (éds), London, Sage Publications, pp. 157–182. Disponible à cette adresse : http://www.sscnet.ucla.edu/clic/cgoodwin/00pract_see.pdf
- JACOBI, Daniel (1999), *La Communication scientifique : Discours, figures, modèles*, Grenoble Presses universitaires de Grenoble.
- KLINKENBERG, Jean-Marie (2000), *Précis de sémiotique générale*, Paris, Seuil.
- (2009), « À quoi servent les schémas ? Tabularité et dynamisme linéaire », *Protée* vol. 37, 3, « Regards sur les images scientifiques », ALLAMEL-RAFFIN (éd.), pp. 65–74.
 - (2010), « De la référence à la modélisation : les transformations de l'image scientifique. Conclusions », *Visible*, 6, DONDERO & MOUTAT (éds), Limoges, Pulim, pp. 143–155.
- KLOCK-FONTANILLE, Isabelle (2005), « L'écriture entre support et surface : l'exemple des sceaux et des tablettes hittites », in *L'Écriture entre support et surface*, ARABYAN & KLOCK-FONTANILLE (éds), L'Harmattan, pp. 29–51.
- LATOUR, Bruno (1987), *Science In Action : How to Follow Scientists and Engineers Through Society*, Harvard University Press, Cambridge Mass., USA ; tr. fr. *La Science en action*, Paris, La Découverte, 1989.
- (1996), *Petites leçons de sociologie des sciences*, Paris, Seuil.
 - (1999), *Pandora's Hope : An Essay on the Reality of Science Studies*, Cambridge, Mass., Harvard University Press ; tr. fr. *L'Espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, Paris, La Découverte, 2001.
 - (2008), « The Netz-Works of Greek Deductions – A Review of Reviel Netz's The Shaping of Deductions in Greek Mathematics », *Social Studies of Science*, vol. 38, 3, pp. 441–459, disponible à cette adresse : <http://www.bruno-latour.fr/articles/article/104-NETZ-SSoS.pdf>
- LATOUR, Bruno & WOOLGAR, Steve (1979), *Laboratory Life : The Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills, Sage Publications ; tr. fr. *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*, Paris, La Découverte, 1988.
- LE GUERN, Odile (2008), *De la parole à l'œuvre. Synthèse*, Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Lumière-Lyon 2.
- LUMINET, Jean-Pierre (1979), « Image of a Spherical Black Hole with Thin Accretion Disk », *Astronomy and Astrophysics*, 75, pp. 228–235.

- (2006), *Le Destin de l'univers. Trous noirs et énergie sombre*, Fayard.
- (2009), « Science, Art and Geometrical Imagination », conférence invitée au IAU Symposium 260 "The Role of Astronomy in Society and Culture", UNESCO, 19–23 Janvier, Paris, à paraître dans les actes du colloque, disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0911/0911.0267.pdf>
- LYNCH, Michael (1990), « The Externalized Retina : Selection and Mathematization in the Visual Documentation of Objects in the Life Sciences », in *Representation in Scientific Practice*, LYNCH & WOOLGAR (éds), Cambridge, MIT Press, pp. 153–185.
- MONDADA, Lorenza (2005), *Chercheurs en interaction. Comment émergent les savoirs*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- NAZÉ, Yaël (2010), « Images de l'Univers, l'Univers en images », *Visible*, 6, DONDERO et MOUTAT (éds), Limoges, Pulim, pp. 123–134.
- PEIRCE, Charles Sanders (1885), « On the Algebra of Logic : a contribution to a Philosophy of Notation », *American Journal of Mathematics*, vol. 7, 2, pp. 180–202; *Collected Papers*, 1931–1935, 3.359–403.
- (1906), « Prolegomena to an Apology for Pragmatism », *Collected Papers*, 1931–1935, 4.530–572.
- (1931–1935), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, 8 vol., numérotés en chiffres arabes, HARTSHORE, WEISS, BURKS (éds), Cambridge, Harvard University Press.
- POE, Edgar A. (1935), *Tales of Mystery and Imagination, Illustrated by Arthur Rackham*, London, George G. Harrap & Co.
- STJERNFELT, Frederik (2007), *Diagrammatology. An Investigation on the Borderlines of Phenomenology, Ontology, and Semiotics*, series Synthesis Library vol. 336, Springer Netherlands.
- TUFTE, Edward R. (2005), *Envisioning Information*, Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- THÜRLEMANN, Felix (1982), *Paul Klee. Analyse sémiotique de trois peintures*, Lausanne, L'âge de l'homme.