LES IMAGES ANACHRONIQUES DE L'HISTOIRE DE L'UNIVERS[1]

Maria Giulia Dondero

1. Introduction

Afin d'analyser les images dans le discours scientifique il faut partir de la prise en compte des objectifs et des pratiques d'investigation de la discipline qui les produit ; dans mon cas ce sera l'astrophysique.

On sait très bien que la sémiotique des images s'est passée longtemps de l'analyse de la situation de production et de la diachronie de leur genèse pour, en revanche, analyser l'image en tant que texte, en tant que système de relations chromatiques, eidétiques et topologiques. Dans les dernières années, par contre, grâce surtout aux travaux sur la production de textes de Jacques Fontanille[2], Anne Beyaert[3], Pierluigi Basso[4] et sur le rapport entre écriture et image de Jean-Marie Klinkenberg, on a pu dépasser cette approche et enraciner l'analyse des images dans leur contexte et leur histoire de production.

En ce qui concerne les images scientifiques, il faut donc les analyser en partant des objectifs visés par la discipline qui les produit. Mais ce serait intéressant aussi de mettre en rapport les focalisations visuelles que les différentes disciplines font d'un « même » processus. On pourrait par exemple mettre en relation les images produites par des recherches en médecine et en biologie, ou par la pédologie et la géographie, ou par la pédologie et l'archéologie. C'est ce que font des savants comme Charles Goodwin et surtout Bruno Latour lorsque dans son écrit sur le

---

[1] Cette communication a été prononcée lors du colloque « L'image dans le discours scientifique » organisé par Jean-Marie Klinkenberg, Maria Giulia Dondero et Sémir Badir qui a eu lieu à l'Université de Liège le 30 mars 2007. Je remercie vivement Sémir Badir pour la correction de ce texte, ainsi que Elisabetta Gigante et François Provenzano pour leur lecture attentive.

[2] Jacques Fontanille, *Séma et soma. Figures du corps*, Paris, Maisonneuve et Larose, 2004.

[3] Voir à ce sujet Anne Beyaert, Maria Giulia Dondero, Jacques Fontanille, « Arts du faire : production et expertise », *RS/SI*, 2008, à paraître.

[4] Pierluigi Basso, *Il dominio dell'arte. Semiotica e teorie estetiche*, Roma, Meltemi, 2002 et "Testo, pratiche e teorie della società", dans *Semiotiche*, n. 4, Torino, Ananke, 2006.

sol amazonien[5] celui-ci met en comparaison les manières qu'adoptent les différentes disciplines pour représenter les transformations du sol. Du « même » sol les botanistes, les pédologues et les morpho-géographes produisent différentes représentations en visant différents objectifs qui répondent à une chaîne de questions propres à un certain parcours disciplinaire déterminé. Et le sol et ses transformations ne peuvent être connus qu'en traduisant les relations construites par les différentes disciplines.

Cette nécessité d'étudier les images en partant des objectifs des disciplines qui les produisent nous pose à nous les sémioticiens le problème de la détermination du niveau de compétence requis, sur les techniques et surtout sur le degré d'évolution d'une discipline pour pouvoir en étudier les images. Si nous renoncions à acquérir une compétence scientifique, une connaissance des buts et des instruments utilisés par chaque discipline, nous nous condamnerions à n'étudier que la vulgarisation de la science, ou bien nous serions condamnés à une lecture des images totalement abstraite et à un jeu presque esthétique sur les images scientifiques. On devrait arriver non seulement à rendre compte de la technique de production, mais aussi à suivre l'historique des pratiques de production. Comme le dit Latour : « La connaissance ce n'est pas explorer, mais *pouvoir revenir sur ses pas* en suivant le chemin que l'on vient de baliser » (2001, p. 78)[6]. Cet aspect me parait important, étant donné que les images doivent être étudiées à l'intérieur d'une chaîne de transformations qui construit, étape après étape, une référence. Pour étudier ces images on devrait suivre toute la chaîne de construction du processus à détecter, comme le font les anthropologues dans un laboratoire scientifique. D'ailleurs, la sémiotique vise aujourd'hui à transformer ses instruments théoriques en adhérant de plus en plus à ses objets d'étude, pour moins *généraliser* et mieux *caractériser*, comme il advient dans ces dernières années lorsqu'on essaie de reconfigurer les méthodes analytiques d'une sémiotique des textes pour analyser les pratiques.

Ce qui est nécessaire si on veut faire une sémiotique du discours scientifique, c'est de considérer les images non comme des *résultats* mais en tant qu'*opérateurs provisoires*, des étapes en succession au cours d'un processus d'investigation qui n'a pas de fin définitive mais différents recueils et alignements de traces et des encadrements qui changent selon les disciplines et les systèmes de pertinence

[5] Bruno Latour, « Sol amazonien et circulation de la référence », dans *L'espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, 2001, Paris, La Découverte, p. 40-87.

[6] Bruno Latour, « Sol amazonien et circulation de la référence », dans *L'espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, 2001, Paris, La Découverte.

choisis. Ce qui intéresse en effet c'est la genèse des images qui génèrent d'autres images, ou d'autres outils de visualisation. Si une image est isolée, cela veut dire qu'elle n'a aucune efficacité. L'image isolée on peut la trouver dans les livres des philosophes, ou des vulgarisateurs, mais pas dans un essai scientifique. Mais on ne pourrait pas distinguer *à priori* entre images de la vulgarisation et images de la recherche scientifique : il peut s'agir tout à fait des mêmes images, *c'est leur densité d'enchaînement qui change*. Des images scientifiques, on doit toujours pouvoir récupérer les images qui les ont précédées et générées, les paramètres de production qui les ont rendues possibles et grâce auxquels elles acquièrent leur statut.

Par rapport aux images sur lesquelles j'ai toujours travaillé, à savoir les images artistiques, la première différence est que le contrôle de la genèse n'a pas la même importance dans l'image artistique, à moins qu'on veuille l'étudier comme témoignage d'une virtuosité du faire. La première différence de l'image scientifique par rapport à l'image à statut artistique est que l'image scientifique peut et doit être reproductible, justifiée et *justifiable*.

Usant la distinction du philosophe Nelson Goodman entre autographie et allographie j'ai toujours affirmé[7] que la photographie artistique est un exemple d'image *autographique*[8] comme c'est le cas du tableau, parce qu'elle ne possède pas une notation, un alphabet de signes, une grammaire, bref, la photo et le tableau ne peuvent pas être « exécutés » et re-exécutés comme c'est le cas, en revanche, de la partition musicale (là on a un alphabet de signes, une notation, des exécutions dont on peut mesurer l'exactitude). Dans le cas de la photo scientifique on a par contre une partition, obtenue par prélèvement et calcul, qu'on doit littéralement exécuter (on verra bientôt quelques exemples d'image-mosaïque en astrophysique). Il existe une contrôlabilité et une manipulabilité de l'image scientifique qu'on ne trouve pas dans la photo artistique (en témoignent les pratiques de droits d'auteurs, et l'impossibilité de la moindre modification dans la phase du tirage). La photo scientifique, à travers cette contrôlabilité, se pose à l'opposé des pratiques de sémantisation de l'image artistique qui joue sur la sacralisation des originaux et sur l'unicité ; bien au contraire les pratiques de manipulation de l'image

[7] Voir à ce sujet Pierluigi Basso Fossali, Maria Giulia Dondero *Semiotica della fotografia. Investigazioni teoriche e pratiche di analisi*, Rimini, Guaraldi, 2006, in part. « Geografia della ricerca semiotica sulla fotografia" et Maria Giulia Dondero, *Fotografare il sacro. Indagini semiotiche*, Roma, Meltemi, 2007, in part. « Irripetibilità e irriproducibilità dell'aura ».

[8] Voir à ce sujet Nelson Goodman, *Les langages de l'art. Une approche de la théorie des symboles*, Paris, Hachette, 2005 (1968).

scientifique demandent à être *partagées, partageables* et modifiables.

Car c'est bien sur la correspondance entre modification des paramètres et configurations visuelles que se joue la vérité de l'image scientifique[9]. La vérité d'une image dépend de réglés de paramétrage, ou mieux encore, la référence se construit à partir *des différentes images qu'on obtient en transformant, d'approximation en approximation, le paramétrage*. Comme l'affirme encore Bruno Latour (2001), « La référence n'est pas ce que l'on désigne du doigt ou ce qui, de l'extérieur, garantit la vérité d'un énoncé, mais ce qui demeure *constant* à travers une *série de transformées* ».

2. *Présentation de* Le destin de l'univers

Ce que je me propose maintenant c'est d'étudier le système iconographique des astres en partant de l'ouvrage d'un de plus importants astrophysiciens vivants, Jean-Pierre Luminet, directeur de recherches au CNRS, qui travaille à l'Observatoire de Paris-Meudon. Le livre en question s'intitule *Le destin de l'univers. Trous noirs et énergie sombre* (Fayard, 2006).

Ce livre, qu'on peut considérer comme un « popular science book » d'un très haut niveau, est intéressant pour deux raisons. La première est son genre discursif. Le genre de cet ouvrage peut être considéré comme un compromis réussi entre, d'un coté, l'explication didactique et, de l'autre, une tentative de traduire pour un public étendu l'avant-garde scientifique des derniers articles parus sur des thématiques délicates. La première partie situe les cadres historique et théorique de l'ouvrage. Dans la deuxième partie on aborde le domaine de l'évolution des étoiles et une des conséquences inéluctables de la gravitation : l'effondrement des étoiles. C'est dans la troisième partie du livre que Luminet commence véritablement la plongée dans le monde de trous noirs qui sont « sans conteste l'une des aventures intellectuelles les plus audacieuses des Temps modernes » (2006, p. 9) et sur les situations extrêmes de la matière, qui permettent de relancer la recherche sur des sujets qui poussent les modélisations scientifiques dans leurs derniers retranchements. Comme nous le disions auparavant, ce livre rapproche le régime de la diffusion pédagogique au régime de la recherche et de la formation des hypothèses ; en effet, Luminet se plonge dans le cadre des théories quantiques de la gravitation, en cours de développement, à travers lesquelles les propriétés ultimes des trous noirs pourront de plus en plus être comprises.

[9] Voir à ce sujet Françoise Bastide, « Iconographie des textes scientifiques : principes d'analyse », *Culture technique*, Paris, 14, 1985.

La deuxième raison qui m'a fait choisir cet ouvrage concerne le fait que l'auteur utilise, pour expliquer des concepts, ou pour mieux visualiser des mécanismes, des images appelées « vues d'artiste ». J'essaierai de comprendre pourquoi les astrophysiciens ont besoin des vues d'artiste, c'est-à-dire d'images avec des statuts fort différents. Surtout il serait intéressant de comprendre à quel point de la chaîne de la référence ces vues d'artiste se situent.

En ce qui concerne mon étude, je me limiterai à observer comment les images des trous noirs changent par rapport aux photos consacrées à la formation et à l'explosion des étoiles, et comment, à leur tour, les vues d'artistes diffèrent de celles-ci.

3. Analyse des images: formation stellaire et nébuleuses

Voyons maintenant comment le système des images est construit le long du livre. Comme vous l'imaginez, les types d'images et d'agencements entre elles sont très variés.

Les images de la première partie sont pour la plupart des schémas explicatifs et des portraits des savants. Cette personnification de la science est typique de la vulgarisation et de la pédagogie et disparaît au fur et à mesure qu'on avance avec les théories les plus expérimentales.

La deuxième partie explique la naissance des étoiles à partir d'interactions entre galaxies. Ici les premières photos apparaissent (photo 1). La légende nous explique que ces cinq images montrent la formation d'une étoile et des planètes. On s'aperçoit qu'elles sont dans un rapport de *succession explicative* parce qu'elles présentent une *situation-type*. Le texte à coté explique les différents stades de cette formation ; l'image en haut montre que l'étoile se forme à partir des perturbations et instabilités gravitationnelles déclenchant l'effondrement d'un nuage de gaz et de poussière. La deuxième image à gauche montre comment les poussières s'accumulent au centre, entouré d'une enveloppe de matière et d'un disque. La troisième photo montre qu'une partie de ce disque est évacuée sous forme de jets. Les deux dernières images montrent au centre de l'étoile l'agrégation de planétésimaux qui formeront des planètes après la fusion nucléaire. Dans la légende de la quatrième image il nous est dit que l'enveloppe et les jets se dissipent au bout d'un million d'années. Donc ces jets et ces anneaux se réfèrent à une expansion de la matière qu'on ne peut pas talonner : la stratégie représentationnelle de l'image est de synthétiser – à travers des calculs, et par l'intermédiaire de différents dispositifs – de millions d'années et des vitesses différentes en des rapports visuels codifiés. Le texte explique que la première phase de cette

formation stellaire dure environ 100000 ans. L'image est donc construite sur la base de milliers de photographies qui sont assemblées à travers un système qui traduit des rapports spatio-temporels, des températures et des vitesses en des rapports chromatiques, luministiques, eidétiques et topologiques.

Le texte affirme que les embryons des étoiles sont profondément enfouis dans un cocon gazeux riche en poussières qui absorbe la majorité du rayonnement central et devient de ce fait inobservable en lumière visible. Toutefois, ces mêmes lumières émettent un rayonnement infrarouge caractéristique, ce qui rend le cocon observable. Seule en effet la bande de fréquence de l'infrarouge permet de franchir les amas de poussière et seulement à la fin de ce processus l'étoile rentre dans les ondes du spectre du visible. Cette série de photographies est donc prise à des longueurs d'onde différentes, infrarouge et visible. Dans cette image (photo 2) on peut voir le spectre éléctromagnétique des ondes radios aux rayons gamma : il nous apparaît déjà que chaque étape du processus peut être détectée et étudiée selon des longueurs d'onde adéquates et que pour arriver à décrire entièrement un processus il faut pouvoir traduire entre elles toutes les techniques utilisées et tous les différents résultats du recueil de la lumière.

photo 1

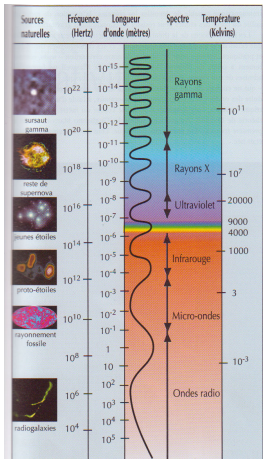

photo 2

Dans les pages suivantes Luminet montre une série de nébuleuses dont la détection selon différentes longueurs d'ondes visualise leur composition chimique. Prenons donc quelques photos des nébuleuses (photo 3). On peut bien affirmer que ces images montrées isolées et abstraites de leur processus de formation sont enchaînées selon le registre de la vulgarisation (c'est-à-dire pas enchaînées !) et

révèlent des iconographies et des théories acceptées dans le domaine. Elles sont présentées ici comme des *images finales* qui interrompent la chaîne de construction de la référence et la fixent. Focalisons maintenant notre attention sur la spirograph nebula (photo 4).

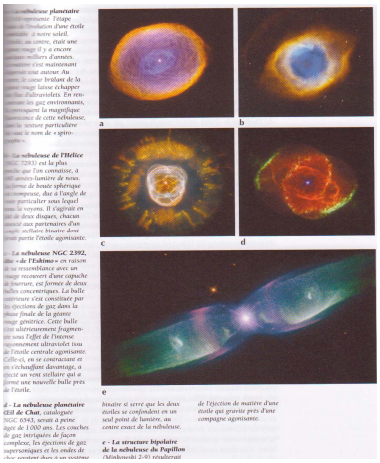

photo 3

photo 4

Les nébuleuses sont des astres qui évoluent rapidement. Elles ont une durée de vie très brève – moins de 100,000 ans. On a pu étudier leur évolution et donc leur âge à travers leur diamètre, qui ne dépasse pas une année-lumière. Les nébuleuses planétaires, résidus de gaz éjectés par une petite étoile agonisante, sont les astres les plus spectaculaires et cela est dû justement au fait que leur gaz intercepte le rayonnement émis par la surface incandescente de l'étoile centrale ; ce rayonnement transporte plus d'énergie que la lumière visible, dans ce cas ultraviolet, et ce rayonnement est capable d'*exciter* les atomes de la nébuleuse. Sous le bombardement incessant des photons, les électrons sautent sur des orbites d'énergie supérieures, puis retombent en émettant un rayonnement à la couleur caractéristique : et *c'est à cause de ce parcours et de ces sauts que le gaz devient fluorescent*. Chaque atome qui le constitue (hydrogène, carbone, oxygène) absorbe la radiation ultraviolette et la réémet dans d'autres longueurs d'onde dont la couleur est en quelque sorte une signature. En effet, c'est dans les régions internes à la nébuleuse, les plus proches de l'étoile centrale, donc les plus exposées au rayonnement ultraviolet, que l'oxygène et l'azote sont excités et rayonnent dans le vert/bleu. Dans les régions périphériques, le rayonnement ultraviolet est affaibli par l'absorption et ne parvient plus à exciter que l'hydrogène, qui réémet dans la couleur rouge, ici la couleur du refroidissement. On s'aperçoit que *la profondeur spatio-temporelle du ciel est saisissable à*

travers la mise en image de la composition chimique. Plus précisément, en ce qui concerne les couleurs, elles sont ajoutées après la détection et dépendent des transformations chimiques enregistrées, des différentes températures, des longueurs d'ondes affectées. Mais le système des couleurs n'engendre pas un rapport « un à un » avec le système des éléments. Au contraire, les rapports progressifs entre les couleurs dans un spectre du bleu au rouge trouvent à se codifier avec les relations progressives des températures et des forces d'excitations des éléments chimiques. Donc la codification n'est pas fixe entre un élément et une couleur, elle est engendrée par le rapport entre deux transformations sur des échelles, chromatiques et chimiques : une transformation a comme corrélat l'autre. L'hydrogène n'émet pas toujours en rouge, mais sa couleur dépend de sa relation avec les autres éléments concernés et leur températures. On peut avoir aussi des autres codifications qui rendent compte par exemple de la vitesse de rotation ; le rouge dans le cas de la rotation d'une galaxie est codifié comme la couleur de l'éloignement par rapport au bleu que dans ce cas signifie la « direction la plus proche de nous ». La partie d'une galaxie qui est colorée en rouge dans ce système de codage ne peut pas être datée en soi, mais par rapport à la topologie, à la distribution et aux intensités des autres couleurs. Il apparaît clair que photographier signifie ici mesurer et aussi dater (en effet l'âge estimé à travers de calculs et des inférences dans le domaine de la relativité est toujours comparé avec l'étendue et la dilatation des diamètres des astres qui nous sont fournis à travers les images – et vice-versa).

De plus, la confrontation entre différentes longueurs d'ondes d'émission devient un instrument de mesure elle-même ; en effet les images captées selon différentes longueurs d'onde peuvent s'ajuster et trouver une synthèse qui permet la comparaison comme c'est le cas ici (photo 5).

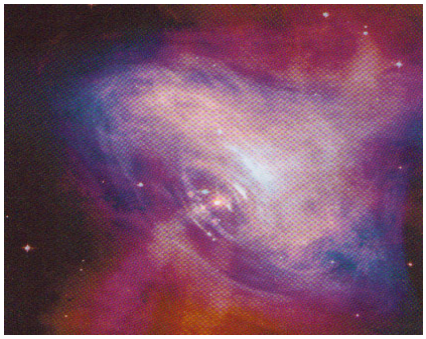

photo 5

Cette image est une *image composite* en lumière visible et en rayons X d'un pulsar de la nébuleuse du Crabe. Cette superposition d'images sert à connaître, reconnaître et à décrire certains fonctionnements qui sans elle seraient complètement abstrait et sans support. L'image permet d'éprouver les théories, parce qu'elle est produite par des recueils de données qui, grâce à elle, deviennent perceptibles et « comparables ». L'image peut matérialiser

les différents résultats qui sortent de la manipulation des paramètres. Les images peuvent montrer – à travers leurs modulations eidétiques, chromatiques, etc. – *ce qui va changer au fur et à mesure qu'on manipule les paramètres de détection*. Les différentes visualisations croisées, comparées ou superposés peuvent servir comme instruments de vérification/falsification. La photographie astronomique est par conséquent un instrument permettant de représenter les croisements entre différents résultats et différents paramètres de mesure.

3.1 Supernovas et nébuleuses

Si l'on porte à présent notre attention sur ce reste de supernova (photo 6), le commentaire qui l'accompagne explique qu'il forme une vaste bulle dispersée dans l'espace plus de 20000 ans après l'explosion (comme on le voit à droite). Le télescope spatial Hubble a *photographié en détail* une partie (à gauche) et révélé sa composition chimique : cette partie est constituée d'oxygène (bleu), d'un soufre froid (rouge) et d'un fin nuage d'hydrogène(vert), ces deux éléments étant à présent froids car situés derrière le front de choc.

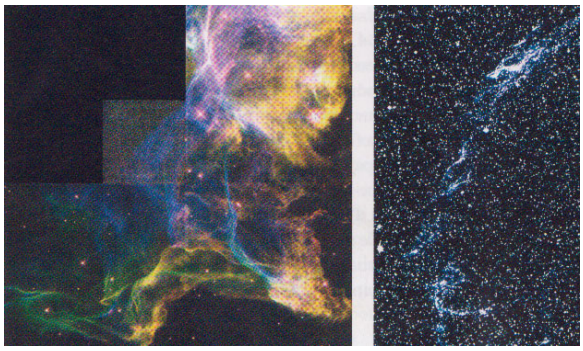

photo 6

On comprend bien qu'il manque un référent visuel à nos images; sur cette photo on n'a pas la reproduction d'un objet, mais *l'image d'une transformation obtenue par émission et réémission de différents rayonnements construisant l'objet*; la substance chimique révèle un fonctionnement, ne serait-ce que d'un point de vue temporel, qui devient visuel. Ce sont les forces de résistance et la tension entre les dispositifs de détection et les phénomènes détectables qui construisent les formes et les contrastes visuels.

Un tel processus arrive aussi au moyen d'autres techniques dans des autres disciplines: c'est le cas de la scintigraphie où les images se forment par stimulation des éléments radioactifs; ou encore dans le cas de la photo satellitaire utilisée par les pédologues, les géographes et les archéologues où on obtient des configurations visuelles à

partir des contrastes de résistance du sol aux ondes électromagnétiques des capteurs. Là, chaque objet imagé est défini par une superposition des « réponses énergétiques » dans différentes longueurs d'ondes, à laquelle on va ajouter ensuite une étude diachronique. Ce sont ces rapports entre les forces constrastives qui construisent les formes. La photo ne relève plus d'une stratégie représentationnelle qui vient d'une observation face à l'objet, comme s'il s'agissait d'une représentation *en miroir*, mais d'une représentation par stimulation et accumulation de traces diverses. Le problème qui se pose à la construction d'une iconographie est celui de la traduction entre traces, afin qu'elles puissent s'aligner et construire la bonne référence. Cette « bonne référence » est confirmée par sa durée dans le temps, mais l'efficacité de cette durée dépend en grande partie des manipulations (filtrages, décomposition, adjonctions) que cet alignement permet. Pourrait-on encore nommer ces photos des images indicielles, ainsi qu'on se l'est demandé aux rencontres du Groupe Mu durant cette année ? C'est-à-dire des images qui conservent les traces qui les ont constituées et qui grâce à ces traces deviennent des images « fiables » ? Oui, bien sûr, mais il faut se rappeler que ces traces ne proviennent pas d'un objet déjà constitué et autonome, mais des filtrages, du démontage, de la distribution et du re-assemblage des processus d'*exploration* et de *réponse* que les images fixent provisoirement. L'indexicalité renvoie donc à des processus de démultiplication, distribution et réassemblage.

Une autre question qu'il me semble intéressant d'aborder est soulevée par l'image de la nébuleuse du Crabe (photo 7) à savoir la question de la *correspondance* entre différentes observations à des moments différents. Luminet (2006) écrit : « En 1054, une explosion d'étoile a émis l'enveloppe de gaz qui constitue aujourd'hui la spectaculaire nébuleuse du Crabe, dans la constellation du Taureau.

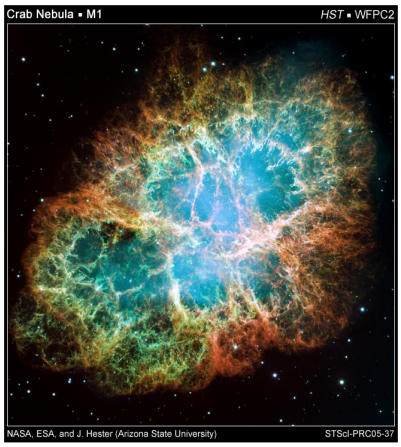

photo 7

Cette image, *composée de 24 clichés* individuels pris par le télescope spatial Hubble et *superposés* à des clichés du Very Large Telescope de l'ESO au Chili, est la plus précise jamais effectuée. On y voit particulièrement bien la structure filamentaire » (c'est moi qui souligne, MGD).

La précision et la fiabilité de cette image provient paradoxalement du fait qu'elle est une mosaïque qui rassemble des situations différentes (les 24 images de Hubble ont été

prises en Octobre 1999, en Janvier 2000, en Décembre 2000), chacun de ces 24 clichés cachant donc en partie ce que montrent les autres. Cette image est faite d'une multitude de points de vue différents composés ensemble et superposés, mais tous supposés être des points de vue sur la *même chose*. L'image étant la composition d'une multitude d'images prises à des moments différents, il est impossible qu'une telle vue ait jamais existé. De plus, qu'est-ce qui peut nous assurer que les observations faites en 1054, dont on parle dans la légende, correspondent à la « même » étoile observée en 1999 et en 2000 par les capteurs du satellite Hubble ? On sait que les étoiles ont des positions reconnaissable par des coordonnées ajustées tout le long du temps de leur vie. Le repérage est possible grâce à un alignement correct des traces obtenues par traduction entre plusieurs dispositifs. Pourrions-nous donc affirmer qu'il s'agit ici de la *même* nébuleuse ? Il se pourrait bien que certains de ces événements n'existaient plus à certains moments des dernières prises photographiques. L'unicité n'est donc définissable qu'aux différents points de l'espace et du temps où se trouvaient les satellites qui l'ont détectée. Mais, si nous sommes bien convaincus que ce sont les positions énonciatives qui comptent, il revient au même de dire que la condition de mêmeté de cette nébuleuse nous est donnée par l'image elle-même. L'image fournit le support et la configuration, la référence spatiale et temporelle, aux événements divers qui s'assemblent en elle. Comme le dit Jean-François Bordron[10] :

> la vérité d'une image n'est pas son accord avec *ce qui est*, mais bien son accord avec *ce qui par elle est fait image*. L'image fournit en effet à *ce qui est* sa condition d'unicité (de « mêmeté ») et, réciproquement, cette unicité ne peut se réaliser que si *ce qui est* devient image. Il y a donc entre ce qui est et son image tout un procès de constitution, procès certes technique, mais surtout sémiotique, qui consiste à *construire ce qui est sous l'espèce d'un signifiant iconique, signifiant qui, en retour, lui fournit sa condition d'unicité*.

Dans l'image suivante (photo 8) on voit quatre photos du « même » reste de supernova, baptisé Cassiopée A, montré à travers ses manifestations selon différentes longueurs d'ondes : la première est une image radio, la deuxième optique, et les autres deux ont été prises par le télescope *Chandra* aux rayons X. Nous savons à présent qu'il est

[10] « La vérité et l'image », intervention aux journées d'études « La vérité des images » organisées par Anne Beyaert (en collaboration avec les laboratoire Dynalang-SEM – Université Paris 5 et CeReS – Université de Limoges) à Paris V Sorbonne le 15 et 29 mars 2006. Je remercie vivement Jean-François Bordron pour m'avoir permis de lire cet article avant sa publication.

possible de dater une étoile à partir des relations entresdomaines de rayonnement qui la captent.

Différentes images de Cas A. (1) Image radio. (2) Image optique. Les astronomes cherchaient la trace du résidu central sous forme d'étoile à neutrons émettrice en X. (3) L'image prise par le télescope Chandra dévoile enfin au centre une petite tache: c'est probablement l'étoile à neutrons formée dans l'explosion. (4) Cette image plus récente, toujours prise par le télescope Chandra, met au jour deux jets opposés de 10 années-lumière de longueur, et un anneau vert de même diamètre créé par l'onde de choc de la supernova.

photo 8

photo 9

Par exemple, en ce qui concerne ce reste de supernova, la mesure de sa vitesse d'expansion, visible en radio et en rayons X – mais pas dans le spectre optique – , permet de calculer qu'elle a dû exploser vers 1680.

Une telle explosion devrait laisser un résidu compact de type étoile à neutrons. Celle-ci a longtemps été cherchée, en vain. Pourtant, grâce aux hypothèses sur la relation entre les variables de la température et celles de la distance supposée, on a essayé d'utiliser le télescope spatial en rayons X *Chandra* : à la première observation portée sur Cassiopée A en 1999, sa découverte a été l'étoile à neutrons résiduelle. On voit bien qu'en changeant de système de détection on arrive à valider des hypothèses, notamment l'explosion discrète qu'elle a subi vers 1680.

Les domaines de détection fonctionnent comme des points de vue et il s'agit donc de trouver les relations entres eux les plus porteuses de sens. Il n'y a pas une astronomie plus puissante que l'autre, chacune a son domaine d'efficacité et le bon domaine on le découvre grâce aux relations entretenues avec les autres domaines.

Cette série d'images a la particularité de mettre en scène le rapport entre les différentes puissances de ces domaines, l'effort progressif pour la détection. Il s'agit donc ici d'un autre type d'agencement entre images que ceux que nous avons déjà évoqués : un agencement qui révèle les ajustements successifs et aussi, à rebours, *les fautes* de la détection. Aucune image montre l'erreur ou la faiblesse d'une particulière détection : c'est leur mise en succession qui le révèle.

Ce sont les rapports entre images prises à différentes longueurs d'onde qui permettent la datation, comme le montre aussi le cas de cette image qui représente l'évolution de la supernova 1987A (photo 9): on voit bien que le moment de l'explosion est détecté en rayon gamma parce que les rayons visibles et les rayons X n'auraient jamais pu le détecter.

4. Astronomie gamma et trous noirs

L'astronomie gamma est la dernière née des astronomies consacrées au spectre électromagnétique. Elle complète la connaissance des astres pour des longueurs d'onde extrêmement petites par l'étude des processus les plus énergétiques. Dans l'ouvrage de Luminet le système et la typologie des images changent lorsqu'on commence à approcher les sursauts gamma et les trous noirs.

Ces images exposent la *difficulté du travail* de l'astrophysicien ; elles ne montrent pas en effet les résultats de la détection mais les *approximations de la recherche*. Les agencements entre les images deviennent plus denses et talonnent de près la syntagmatique de l'investigation. Surtout, les images révèlent des hypothèses qui sont en train d'être vérifiées. Par exemple, on fait l'hypothèse que les trous noirs sont liés aux sursauts gamma parce que les champs gravitationnels sont très forts dans la formation des trous noirs et permettent une grande libération d'énergie dont seulement le domaine gamma pourrait rendre compte. Le problème majeur de l'astronomie gamma est le manque de résolution de ses détecteurs qui a rendu très difficile la localisation des sources et l'identification de ces sources à des astres déjà connus émettant sur d'autres domaines de longueur d'onde.

On peut cependant cerner leur position en conjuguant les observations de plusieurs détecteurs, ce qui permet de définir les « boites d'erreur » (dans le cercle bleu) (photo 10) à l'intérieur desquelles doivent se trouver les sursauts gamma. Pour asseoir expérimentalement ces modélisations liminaires, les astronomes ont fait l'hypothèse que les sursauts gamma sont suivis d'une émission de lumière dans d'autres longueurs d'onde, un phénomène appelé *rémanence* ou *contrepartie*. En effet, après le cataclysme ayant créé un sursaut, les sources doivent refroidir et deviennent alors captables, d'abord aux rayons X au bout de quelques heures, puis en lumière visible après quelques jours, voire en radio après quelques semaines. Ces images (photo 11) montrent la première localisation exacte en 1997 d'un sursaut gamma aux rayons X. Le sursaut gamma a été suivi par l'observation d'une contrepartie optique à plusieurs jours d'intervalle. Les deux images nous montrent la rémanence du sursaut dans divers domaines de fréquences : le sursaut gamma se produit bien dans le domaine gamma, puis perd son énergie et passe successivement dans le domaine X, visible et radio. La captation de ces lueurs résiduelles en rayon X permet d'abord de les identifier à des astres précis ; puis la mise en oeuvre des techniques de la spectrographie dans le domaine optique permet de mesurer le décalage vers le rouge de la lumière émise par les sources lointaines ; plus ce décalage

(entre le rouge et le bleu et le vert) est grand, plus la source est distante et plus le « temps de regard en arrière » est profond. Le rapport entre le bleu et le rouge montre le temps de refroidissement du sursaut. Ces deux images montrent une véritable cartographie de la sensibilité des différentes longueurs d'ondes à un « même » phénomène. Les sursauts gamma ont pu être considérés comme sources de mesurages certaines quand les images prises à d'autre longueurs d'onde l'ont confirmé.

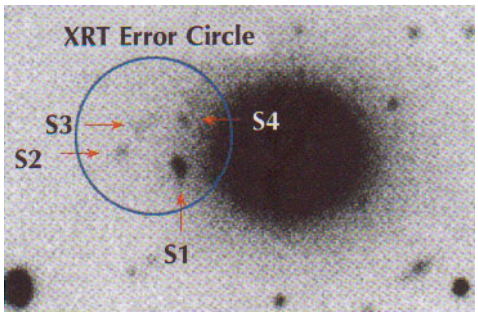

photo 10

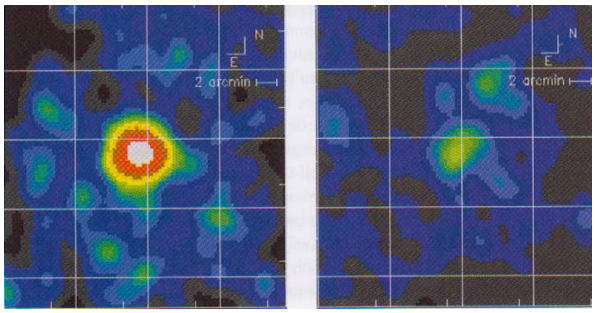

photo 11

Dès qu'il s'agit d'expliquer dans les détails la formation d'un trou noir, au tout début, les photos disparaissent (photos 12 et 13). Non pas parce que les photos ne montrent que *ce qui est là*, mais parce que les photos, pour être *recueillies*, nécessitent une certaine perfection déjà accomplie en termes de calculs de donnés et d'hypothèses.

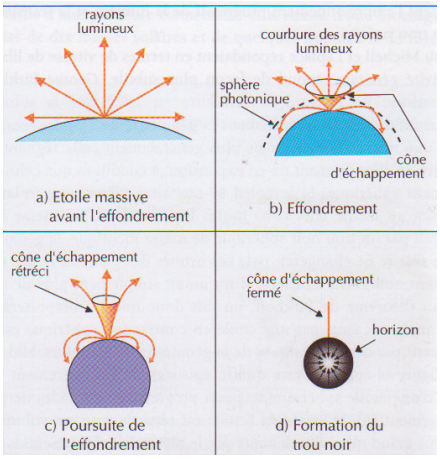

photo 12

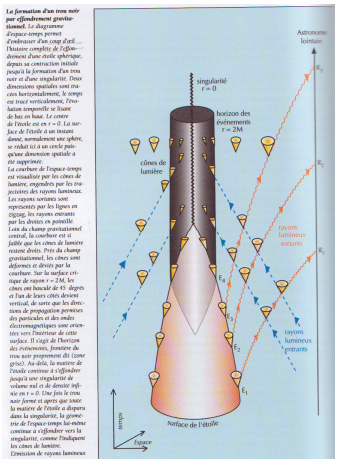

photo 13

Autrement dit, l'instrument de captation demande à être suffisamment sensibilisé. Comme on le voit dans cette image (photo 14), ce sont les équations de la relativité générale

qui permettent de construire des images qui mettent en scène différents points de vue possibles pour explorer l'intérieur d'un trou noir (on aperçoit que très près d'un trou noir les concepts d'intérieur et d'extérieur sont inversés en raison de la forte courbure des rayons lumineux).

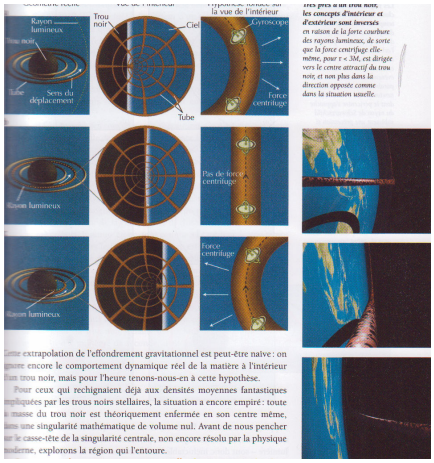

photo 14

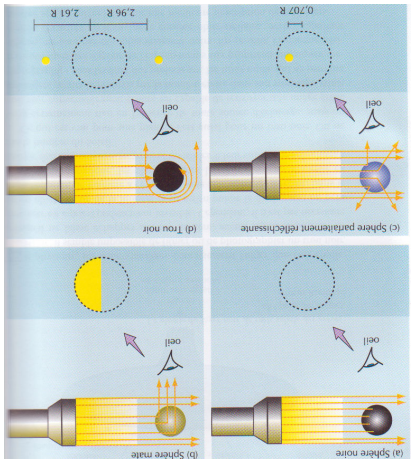

photo 15

Luminet affirme à ce propos que : « cette extrapolation de l'effondrement gravitationnel est peut-être naïve ; on ignore encore le comportement dynamique réel de la matière à l'intérieur d'un trou noir, mais *pour l'heure tenons-y* à cette hypothèse » (c'est mi qui souligne, MGD). Toute explication de ces images est fondée sur des hypothèses sur les rapports entre les ondes gravitationnelles et le savoir géométrique, et toute légende commence avec cette phrase : « Selon la relativité générale... ». Il semble impossible de filmer ou de photographier un trou noir, car il ne laisse échapper aucune matière, aucun rayon lumineux. Le trou noir est *a priori* parfaitement invisible. Cependant, un trou noir convenablement éclairé est capable de *renvoyer* une image grâce aux trajets particuliers suivis par la lumière émise dans son voisinage.

A travers cette figure (photo 15) on voit diverses espèces de corps sphériques qui absorbent ou réfléchissent le rayonnement électromagnétique.

Cette image révèle que, parmi les diverses espèces de corps qui ne sont pas brillants par eux-mêmes, le trou noir n'est pas le plus sombre[11]. Elle montre deux différents points

[11] Cette expérience de pensée nous fait apercevoir qu'il renvoie même mieux l'éclairage qu'une sphère peinte en noir et qu'une sphère parfaitement réfléchissante! Par rapport aux corps précédents, le trou noir n'a pas de surface tangible sur laquelle les rayons puissent frapper et se réfléchir. C'est son champ gravitationnel qui dévie les rayons lumineux. La sphère d'influence du trou noir ne se réduit pas à sa seule surface – l'horizon des événements – mais s'étend jusqu'à

de vue, un sur l'action de l'éclairage et l'autre en bas sur le résultat calculé et visible de cet éclairage même. Ce qui pour nous est étonnant c'est que dans cette figure Luminet ne parle pas du tout de schéma, mais bien au contraire de photographie.

Il affirme en effet : « Ainsi *photographiés* sous les feu des projecteurs, les trous noirs... ». Luminet parle d'image *reçue* et d'image *révélatrice* des façons dont les corps, selon leur nature, réagissent aux ondes électromagnétiques. Celle-ci est donc une image qui représente *la dynamique de la formation d'une photographie calculée*.

Les astronomes considèrent comme des photos non seulement les images qui mesurent la lumière renvoyée par des astres et traduite enfin en configuration visuelle, mais aussi toute image qui est le « recueil » des calculs des équations.

La question qui fait progresser l'investigation est évidemment « quelle peut être la source d'éclairage » d'un trous noir ? Une étoile ? ou, mieux, une série d'anneaux matériels en orbite autour du trou noir ? Pour répondre à cette question, on doit s'appuyer non seulement sur les équations de la relativité générale, mais également sur des images de quelque chose de bien connu, à savoir les anneaux de Saturne en en calculant les différences en termes de champs de gravitation et de courbure de l'espace-temps (photo 16).

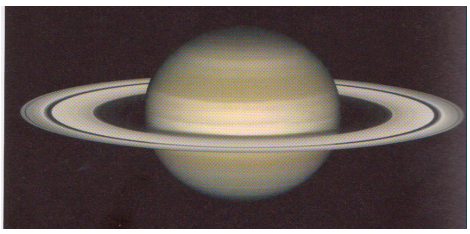

photo 16

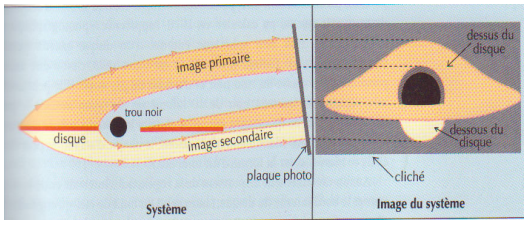

photo 17

Cette autre image (photo 17) montre schématiquement les contours d'un disque circulaire entourant un trou noir sphérique. Par rapport aux annes de Saturne, il faut imaginer que la fort courbure de l'espace-temps autour du trou noir manifeste une distorsion importante de l'image du disque.

l'infini. Par conséquent, les rayons lumineux ne sont plus des lignes droites brisées au point d'impact avec la surface, mais des lignes d'autant plus courbées qu'elles passent près de la surface.

Cette figure montre comment des hypothèses sur la géométrie peuvent être traduites en une photo (dans l'image à droite). Vous voyez que entre les deux parties de l'image, au centre, il est indiqué qu'il y a une plaque photographique. De plus, Luminet explique aussi que cette photo « est prise à grande distance ». Et comme il pourrait advenir face à une « vraie » photo, il affirme : « *Une première constatation surprend : la totalité* du dessus des anneaux est visible, y compris la portion qui serait normalement cachée dans une géométrie sans courbure. L'étonnement grandit lorsqu'on reconnaît aussi, simultanément, le dessous des anneaux : c'est l'image secondaire. Le disque d'accrétion du trou noir peut être vu coté pile et coté face ! ».

On s'aperçoit que pour les astrophysiciens, même des expériences de pensée comme celle-ci, peuvent être considérés comme des photos. Enfin Luminet nous montre à nouveau le même résultat dans un autre système projectif, mais il s'agit encore une fois d'une photo (photo 18)[12].

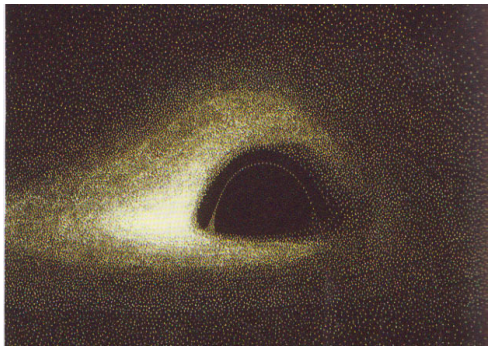

photo 18

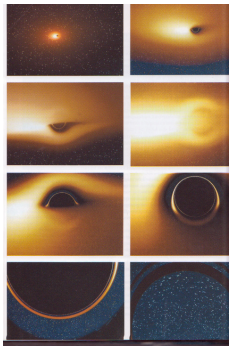

photo 19

Puis d'autres images ont été calculées et des couleurs ont été ajoutées (selon un codage particulier dicté par les variations de la température[13] (photo 19). Ici l'observateur n'est plus supposé stationnaire et à grande distance du trou noir, mais en mouvement par rapport à lui, ce qui introduit une nouvelles distorsion des images induite pas le mouvement de l'observateur lui-même.

Pour expliquer et suivre pas à pas le voyage de l'observateur supposé, Luminet nous propose un schéma (photo 20) qui montre la progression du parcours de la « prise » des images, calculées aux positions 1 à 8 de la trajectoire plongeante schématisée ici ; Luminet affirme que la photo 8 est prise de l'intérieur du trou noir, le photographe ayant

[12] La didascalie à coté explique : « Apparence lointaine d'un trou noir sphérique entouré d'un disque d'accrétion. C'est la première photographie virtuelle d'un trou noir, que j'ai calculée en 1978 sur ordinateur ».

[13] Les parties les plus chaudes sont colorées en jaune, les parties plus froides en rouge.

pivoté de 180 degrés pour regarder par le hublot arrière et voir une dernière fois les images démultipliées et déformées du disque d'accrétion.

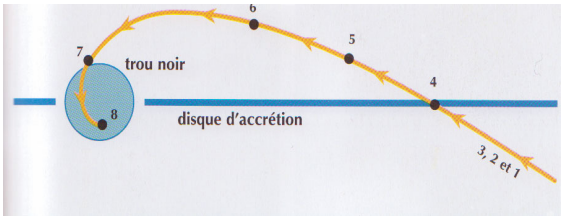

photo 20

5. Conclusions et vues d'artiste

On a vu tout au long de cet exposé différents types d'images et d'agencements entre elles, qui changent en accord avec le niveau plus ou moins expérimental de la recherche :

1) des photos isolées et donc prototypiques qui mettent en scène des résultats définitifs et définitoires. Ces images sont donc présentées selon un mode explicatif et didactique ;

2) des images composites, à savoir construites à partir de prises de lumière à des moments différents et qui sont des tentatives de construire une mêmeté de l'objet dans le temps ;

3) des images en série qui mettent en comparaison différents moments d'un astre et surtout les résultats des différents moyens de détection (selon les différentes longueurs d'ondes). Ce faisant, ces images montrent non seulement un objet, mais aussi l'évolution technique d'une discipline, les efforts de la recherche, les parcours construits sur des erreurs et des approximations dont enfin nous sont présentées les solutions possibles. On pourrait affirmer que ces images mettent en scène une comparaison diachronique des outils et montrent le développement scientifique comme une suite de problèmes à résoudre. Plus on avance dans l'expérimentation, plus on multiplie les images corrélées qui se traduisent l'une l'autre (c'est le cas aussi de la constitution, par approximations, d'une nouvelle iconographie). Il s'agit ici d'un type de communication adressé davantage aux collègues qu'à un public élargi. Dans les articles « pour les collègues », c'est à dire les comptes-rendus ou les articles « de découverte » les agencements entre différentes images d'un même processus sont encore plus denses ;

4) enfin, les images calculées des trous noirs, qui peuvent elles aussi être considérées comme des photos : ces images, Luminet les appelle : « *des photographies calculées point par point dans le cadre de la relativité générale* », et il précise qu'il ne s'agit nullement de « vues d'artiste », mais d'intégrations numériques reproduisant de la façon la plus exacte possible ce qu'observerait un voyageur s'aventurant dans les parages d'un trou noir.

Comme on l'a annoncé au tout début on arrive maintenant, et pour conclure, aux vues d'artiste que Luminet décrit comme des images qui se distinguent fortement des « images calculées de la façon la plus exacte » (21-22-23).

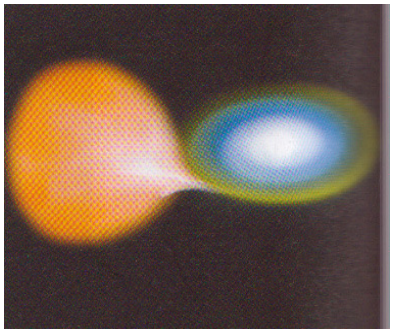
photo 21

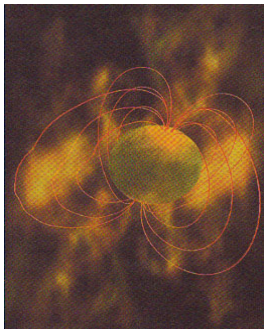
photo 22

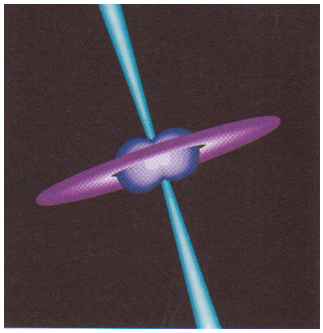
photo 23

Cette précision sur les vues d'artiste, qui sont employées tout le long de l'ouvrage, l'auteur l'introduit justement quand il s'agit de rendre bien clair que les photos calculées à l'ordinateur n'ont rien à voir avec les vues d'artiste.

Alors, quel est l'intérêt des vues d'artiste, pourtant très répandues dans les publications des astrophysiciens ?[14] Il nous semble pouvoir affirmer que, lorsqu'on s'aperçoit que les images qui « recueillent des données » et n'arrivent pas à faire comprendre et à faire imaginer le processus qui est derrière cet enregistrement, on fait recours à des représentations qui, même si elles ne visent pas à l'exactitude, servent à construire une « référence » – une référence qui, bien que fausse très souvent, a la propriété d'être concevable, imaginable. Comment peut-on distinguer les vues d'artiste des photos calculées ? Qu'en est-il de leur statut ? et pourquoi le statut diffère de celui des images

[14] Il ne s'agit pas du travail de vrais artistes, mais de la production de graphistes-astronomes payés par les grandes entreprises de recherche : c'est la NASA la plus grande productrice des vues d'artiste.

qu'on a étudiées jusqu'ici, comme par exemple les images sur l'intérieur et l'extérieur d'un trou noir ? Elles sont construites d'une autre manière, et elles sont virtuelles d'une façon différente. Qu'est ce qui les distingue des images de données et de celles des trous noirs et pourquoi elles sont appelées comme ça et pas « vues artificielles » ou simplement simulations ? Parce que la catégorie de la simulation est couverte par des images telles que les photos calculées des trous noirs.

Or ces vues n'existent pas seulement là où l'enregistrement photographique n'arrive pas à « faire concevoir ». Elles sont exploitées là où on n'arrive pas à calculer. Et les images qui ne permettent pas de calculer à leur tour sont des images non manipulables, donc « non scientifiques ». Voilà donc pourquoi ces images sont appelées vues d'artiste. Les images artistiques sont en effet les images qui, par excellence, ne sont pas manipulables : elles doivent être interprétées comme des globalités, ce qui n'arrive ni dans le cas d'image scientifique qui met en scène des obtenus, ni dans celle sortie de purs calculs. Les images scientifiques sont là pour être transformées, essayées, vérifiées, alors que les vues d'artiste sont là pour être prises comme des blocs fixes. C'est pour cela qu'on ne les appellent pas « images virtuelles » étant données que les images virtuelles en astrophysique sont celles calculées d'une façon très précise et donc manipulables pour différents objectifs. Elles sont appelées vues d'artiste parce qu'elles sont uniques, définitives. Ce sont des images qui fonctionnent comme si elles étaient autographiques : il n'y a pas de paramètres ni de mesures vérifiables dans les images artistiques. Les vues d'artiste sont uniques et surtout fixées : quand il s'agira de représenter un processus mieux connu qu'auparavant, on construira une autre image totalement différente de la précédente. Il ne s'agit jamais d'« ajuster » la précédente, comme il arrive dans le cas des images canoniquement scientifiques qui sont ré-exécutables : c'est la manipulabilité (par filtrage, par exagération des couleurs, etc.) de l'image qui la rend « employable », transformable et scientifiquement efficace.

data di pubblicazione in rete : 10 Settembre 2007