

[Texte original bilingue en danois et en anglais : Groupe μ [F.E., J.K.], « Det videnskabelige billede » et « The Scientific Image », dans *Billeder fra det fjerne. Videnskabelig visualisering. En Antologi. Images from afar. Scientific visualization. An anthology* (dir. Anders Michelsen & Frederik Sjernfeld), s.l. [Copenhague], Akademisk Forlag, pp. 77-89 et 205-217.]

Groupe μ
Francis Édeline, Jean-Marie Klinkenberg
(Université de Liège)

L'image scientifique

1. Introduction. Phénomènes et images

Décrire les objets est une des tâches que s'assigne la science. Or, décrire un objet, c'est toujours le mettre à distance. Et cette distance est double. Il s'agit d'une part de ménager une distance entre l'objet et l'observateur, mais aussi une distance entre l'objet et l'observateur, et l'image qui en sera donnée. Cette double distance, nous allons la théoriser ci-après grâce à la notion de transformation. Car cette distance est toujours obtenue par une technique consistant à transformer une chose en une autre chose qui n'est pas elle.

Ce processus n'est pas propre à la science en tant que pratique institutionnalisée, mais est à la base de tout savoir, de quelque type qu'il soit : il définit en effet toute sémiotique. Les anciens ne définissaient-ils pas le signe par la formule *aliquid stat pro aliquo* ? Leur formule aurait sans doute été plus précise s'ils avaient écrit « une chose est mise à la place de quelque chose d'autre ». Cette altérité, nous la décrivons ici dans l'image.

1.1. Deux types « d'images »

Dans ce qui suit, image risque d'être un terme ambigu. On sait qu'un peu partout, et notamment dans nos travaux, ce mot a le plus souvent le sens de « image visuelle », et spécialement iconique. Ce n'est toutefois pas le seul sens du mot : il désigne aussi, de manière générale, tout « ce qui évoque une réalité (en raison d'un rapport de similitude, d'analogie) ».

Les images, dans ce sens large, se sont récemment vues confier un rôle important en recherche scientifique, au point que l'on a créé le néologisme « imagerie ». Les systèmes d'imagerie ont ainsi pris une importance considérable dans les sciences naturelles appliquées (tomographie, thermographie) et spécialement en médecine (radiographie, ultrasons, résonance magnétique nucléaire, scintigraphie).

L'image scientifique, toujours au sens le plus général du terme, est donc la représentation d'un phénomène, à travers une de ses manifestations, sélectionnée et traitée. On peut ainsi parler d'image électrique, thermique ou magnétique. Dans tous les cas, il s'agit bien de souligner une analogie entre un phénomène et un autre, ou, en d'autres termes, de proposer un modèle où un trait d'une certaine nature se voit systématiquement transformer en un autre trait d'une autre nature, au long des processus de collecte, d'analyse et d'interprétation des données. On voit que dans une définition aussi large, le mot "image" a subi une considérable extension de sens.

Il importe donc de mettre de l'ordre dans cet ensemble. Ce que tente de faire le tableau I ci-après.

Phases du processus Nature du stimulus	I	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2
A V I S I B L E	rayonnement (visible)	œil + microscope, télescope, ...	transformation iconique	photons	cerveau périphérique	cerveau central
	rayonnement (visible)	photocamera	transformation iconique	support chimique	cerveau périphérique	cerveau central
		vidéicon		support magnétique	cerveau périphérique	cerveau central
B. NON VISIBLE	rayonnement (invisible*)	radiocamera (avec transducteurs appropriés)	changement de fenêtre + transformation iconique	électronique (analogique ou digital)	cerveau périphérique	cerveau central
					ordinateur	cerveau central
C. NON SPATIAL	corrélation physique non-spatiale**	ordinateur, oscilloscope	calcul (géométrisation)	graphiques, diagrammes	ordinateur	cerveau central
					ordinateur	cerveau central

Dans la première colonne (I) de ce tableau, le mot « phénomène » est à prendre dans son sens étymologique : « ce qui apparaît aux sens » ; mais, pour que cette définition

reste valable en tous les cas, et pas seulement pour les phénomènes de la rangée A, il faut ajouter à la définition « ou ce qui peut leur apparaître moyennant une transformation adéquate » : un changement de fenêtre de longueur d'onde par exemple, ce qui permet d'y inclure les phénomènes de la rangée B. Le premier groupe de phénomènes (rangées A et B) concerne donc des rayonnements disposés en faisceaux spatiaux, tels qu'on puisse obtenir une correspondance point par point entre le spectacle naturel de départ (une étoile lointaine, un organe interne...) et l'image. Dans tous ces cas, on part bien d'une distribution spatiale pour aboutir à une autre distribution spatiale.

On n'a guère l'habitude de considérer le second groupe (rangée C) de phénomènes lorsqu'il est question d'image, encore que Peirce avait déjà étendu la notion d'icône à de tels faits. Mais l'application à eux du concept d'image devient de plus en plus importante. Le mathématicien peut établir ses raisonnements dans une langue naturelle, éventuellement formalisée. Toutefois, pour mieux apprécier la portée de ses abstractions, il a recours à ce qu'on appelle "géométrisation", c'est-à-dire à une traduction en graphiques qui lui permettra d'exploiter la grande puissance du canal visuel. C'est ainsi que les courbes fractales sont générées et que leurs propriétés apparaissent bien mieux qu'en considérant simplement l'équation récurrente de départ. Mais n'importe quel graphique en deux dimensions (ou davantage, moyennant des projections appropriées) obéit au même désir de visualisation et permet de grouper des grandeurs non visuelles ni même liées à un quelconque rayonnement : par exemple pressions, vitesses, températures, etc. Ici, il n'y a plus de faisceaux spatiaux au départ : seule l'image d'arrivée se présente comme une surface (ou un volume).

On constate donc que le mode de lecture des images du second groupe C doit être radicalement différent, car on ne peut plus, comme dans les premiers cas (A et B), considérer que le simple fait de voir l'image déployée sur une surface (papier, pellicule, écran, moniteur...) est déjà iconique de l'existence d'une surface à la source.

Quoi qu'il en soit de l'intérêt du second groupe d'images, nous resterons fidèles à la définition classique qui en est donnée, bien qu'en soi, la notion de transformation soit indifférente au canal choisi. On pourrait, par exemple, transformer un phénomène thermique en une image sonore, ou un phénomène spatial en une image faisant intervenir des différences de rugosité. Mais il est de fait que les transformations à aboutissement visuel semblent jouir d'une préférence dans nos représentations. Pourquoi ? Sans doute ce privilège du canal visuel est-il dû à sa relative puissance, qui lui permet de traiter un grand nombre d'informations dans un laps de temps donné : il permet d'acheminer 10⁷ bits par seconde, soit sept fois plus que l'oreille. Le canal visuel autorise donc une puissante discrimination des données¹.

1.2. Le sens de l'image scientifique : trois stades d'élaboration

1.2.1. De l'émission naturelle à la diffusion des interprétations

Comme on l'a suggéré, l'imagerie scientifique est une sémiotique du monde. Elle consiste en effet à s'emparer d'un phénomène naturel (le rayonnement d'un corps céleste,

¹ Mais en contrepartie, il hérite d'une partie de ses faiblesses : les illusions d'optique (voir 3.2.2.).

la température d'un corps) et à lui donner un sens. Les théories du sens sont nombreuses. Il en est trois qui peuvent nous intéresser : le sens comme correspondance à un modèle, le sens comme cohérence et le sens comme trace consubstantielle du monde (cf. Joly, à paraître).

Mais ce phénomène d'attribution de sens n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. La production du sens est le terme d'une longue série de processus. Nous ordonnerons ceux-ci en trois phases, dans lesquelles il faudra distinguer ensuite plusieurs sous-étapes.

La première phase est celle de l'émission naturelle : rayonnement, température... Cette émission ne constitue pas un signal, au sens sémiotique du terme. Elle ne mobilise en effet aucune volonté de communiquer. Il se produit certes un signe, au sens le plus général du terme, mais ce signe est de l'ordre de l'indice, permettant par exemple à l'observateur de remonter à la cause qui l'a produit.

La phase deux est celle de l'intervention de l'appareillage. L'appareillage est un dispositif de lecture susceptible de sélectionner un fragment de matière — au sens sémiotique du terme — afin d'en faire une substance sémiotique, et donc de discrétiser la matière. Son intervention se fait en trois temps. D'une part, elle consiste en une réception de l'émission naturelle (input), de l'autre elle consiste en l'émission d'un message qui, à cette fois, statut de signal, message destiné à un autre récepteur (output). Cette émission est donc une réémission. Entre les deux processus — réception et émission — se situe un processus capital, sur lequel nous aurons à revenir : la transformation.

Le phase trois est celle de l'intervention du sujet scientifique. Cette intervention présente elle aussi trois aspects. De première part, elle consiste en une réception du signal produit par l'appareillage lors de la phase deux (input); de l'autre elle comporte l'émission d'un second message, qui est la communication d'une interprétation (output). On note en effet que l'élaboration d'une interprétation scientifique est toujours destinée à une communauté de récepteurs. On l'oublie trop facilement, sous l'influence de l'idéologie de neutralité que dégage souvent le discours de la science. En fait, il y a aussi des effets illocutoires et perlocutoires du discours scientifique : « Ce n'est pas la nature (référé ultime) que l'on trouve en aval ou en amont du texte [scientifique], mais d'autres textes encore qui le citent ou qu'ils citent », écrivent Latour et Fabbri dans un article malheureusement parfois caricatural (1977). Entre ces deux processus — réception du signal et émission de l'interprétation — se situe donc une nouvelle transformation, d'un nature distincte : l'élaboration de l'interprétation proprement dite. Il s'agit en effet d'intégrer le sens de ce qui a été obtenu à un système de savoir, au besoin en réorganisant celui-ci pour obtenir le consensus. Système de savoir qui est aussi un système de croyance, puisqu'il est susceptible de déterminer les observations postérieures. La quête du consensus — qui ne peut s'obtenir que grâce à une rhétorique — est d'autant plus nécessaire que la perception directe des phénomènes, susceptible de fournir le substrat d'un consensus, s'est évanouie au cours des transformations successives.

On peut synthétiser cette chaîne de processus dans le schéma suivant :

- 1) Émission naturelle
- 2) Intervention de l'appareillage
 - 2.1. réception
 - 2.2. transformation
 - 2.3. réémission
- 3) Intervention du sujet
 - 3.1. réception
 - 3.2. transformation
 - 3.3. réémission

Figure 2. Les trois stades d'élaboration de l'image scientifique

On voit aisément que le tableau 1 pourrait être reformulé dans les termes qui viennent d'être proposés : le phénomène examiné correspond à la phase 1, l'appareil capteur à 2.1., la transmission vers l'analyseur à 2.3., l'appareil analyseur à 3.1. et l'appareil interpréteur à 3.2.

1.2.2. Complémentarité de l'appareil humain et de l'appareillage

Le schéma 2, confronté au tableau 1, fait ressortir une triple complémentarité entre l'appareil de perception humain et les appareils construits : ils présentent une parenté structurelle, et une complémentarité tant syntagmatique que paradigmatique.

Parenté structurelle. L'appareil de perception humain n'est pas, en effet, à séparer ici des appareils construits : les appareillages, dans leur rôle sélecteur, ne font d'ailleurs que radicaliser des mécanismes transformateurs inscrits dans l'appareil rétinex (rétine + cortex). Ainsi, on note que « les cellules corticales n'extraient de la scène visuelle que des caractéristiques telles que l'alternance de pans lumineux et sombres ainsi que l'orientation des lignes de contraste entre ces pans » (Imbert, 1983 : 612).

L'appareil de perception humain se distingue toutefois de l'appareillage sur deux points. Tout d'abord, dans l'image scientifique, le trajet qui va du stimulus à l'appareil récepteur (que l'on désigne par la formule heureuse de « système d'acquisition ») doit être soigneusement balisé. Il se produit en effet fréquemment des distorsions qui doivent être compensées : c'est la phase dite de « restauration » (cfr Acheroy, 1990 : 19). La mise au point de l'appareillage doit donc permettre cette restauration. En second lieu, l'appareillage va au-delà de la sélection, mais fournit également, comme on va le voir, des méthodes fines de sélection et de mesure des unités transformées.

Placer sur le même pied l'appareillage et l'appareil de perception humain permet de mettre en évidence la part du sujet dans la transformation. Cette part est particulièrement visible dans le processus appelé « réhaussement » qui consiste à sélectionner certaines caractéristiques de l'image, ce qui permettra d'en optimiser l'interprétation. On constate aisément (cfr Acheroy, 1990 : 19) que ce travail est radicalement différent de celui qui a lieu dans la restauration : il ne s'agit plus ici de compenser des dégradations connues ou supposées, mais de produire explicitement de telles dégradations en vue de mettre en évidence des traits choisis de l'image de départ. Cela suppose un modèle préalable : des

traits sont jugés d'avance riches de sens, tandis que d'autres, sont considérés comme inutiles. Autrement dit, les transformations sont sélectionnées en fonction de l'usage pragmatique postulé de l'image et sont le garant de son intelligibilité scientifique.

Revenons un instant à l'appareil de perception humain. Si l'œil humain est en bout de chaîne, l'appareil optique qu'il constitue procède bien lui-même à des opérations de rehaussement. Le rehaussement a donc lieu à deux reprises. Pourquoi cette reduplication ? Sans doute par une sorte de défiance vis-à-vis de l'instrument humain, à qui certains seuils peuvent échapper, de sorte que l'on accentue leur différenciation.

On a aussi parlé de complémentarité syntagmatique et paradigmatique entre l'appareil de perception humain et l'appareillage.

Complémentarité syntagmatique : comme le montre un balayage des colonnes du tableau 1, opéré de gauche à droite, les appareillages et les appareils humains sont toujours montés en séquence dans la chaîne des processus.

Complémentarité paradigmatique : selon la chaîne où on les trouve, ils peuvent occuper des positions correspondantes, par exemple comme appareils capteurs ou comme appareils analyseurs (colonnes 2.1 et 3.1). Structuralement, ils ont donc la même valeur. Bien sûr, il subsiste entre eux plus que des nuances. Nous les aborderons au paragraphe 3.

1.2.3. Une chaîne de réceptions et d'émissions

Le schéma proposé a le mérite de mettre de l'ordre dans des phénomènes impossibles à décrire en termes simples. On ne peut par exemple parler sans précaution ni de la production ni de la réception de l'image scientifique. En fait, il y a deux stades de production (au stade 2 et au stade 3 ; l'émission est donc toujours une réémission) et deux stades de réception (en 2 et en 3, à nouveau). Quant aux processus de transformation, ils ont une nature différente en 2 et en 3. En 3, il s'agit d'une véritable traduction — autrement dit d'un changement de sémiotique — tandis qu'en 2, il s'agit de familles de transformations dont certaines sont des transformations au sens iconique du terme. Sur ce phénomène important, nous devons maintenant nous étendre.

Toutefois, auparavant, attirons l'attention sur le fait que les transformations proprement iconiques ne se trouvent qu'aux rangées A et B de la colonne 2.2. Dans la

On serait tenté de découpler les transformations des rangées A et B en ne réservant le statut de transformation iconique qu'à celles de A : c'est là seulement qu'on opère sur des formes visibles, réélabores en formes visibles. Toutefois, une autre formulation montre l'étroite parenté des deux familles de transformations : en A, la fenêtre des rayons reste la même d'un bout à l'autre de la chaîne (de 400 à 800 nanomètres). Dans la rangée B, les fenêtres de départ sont appliquées sur la fenêtre du visible moyennant une transformation bi-univoque, mais on reste bien dans des faisceaux de stimuli spatiaux, appréhendés par les mêmes systèmes de mesures.

2. La notion de transformation iconique

L'examen du mode de production des signes iconiques visuels — au sens défini ci-dessus — fait voir à l'oeuvre un processus très général que nous avons nommé transformation (Groupe μ , 1992). La transformation (t) est la relation qui, dans le schéma tétradique du signe iconique appelé ci-dessous dans la figure 3, réunit le stimulus et le référent.

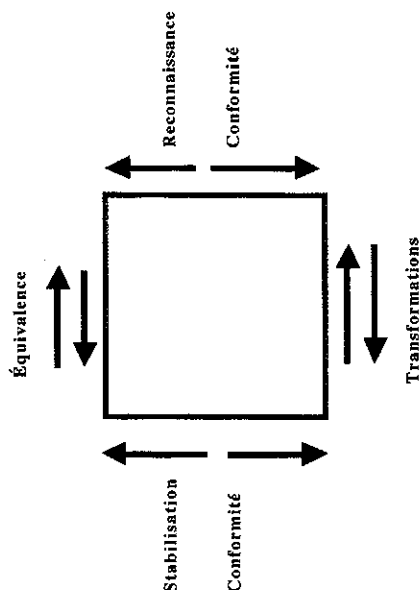


Figure 3. Structure du signe iconique

La relation entre stimulus et référent peut être nommée transformation parce que, présentant tous deux des caractéristiques spatiales, ce signifiant et ce référent sont commensurables, et peuvent donc être décrits comme étant des équivalents l'un de l'autre; mais comme ces équivalents ne sont pas de pures reproductions (conformément à la définition du signe que l'on a rappelée), cette équivalence est nécessairement médiatisée par une transformation. En termes plus précis, on dira que le modèle de représentation de l'un peut être converti en un modèle de représentation de l'autre, selon des règles diverses, de nature géométrique, algébrique, optique, topologique, etc. Modèle de représentation : c'est affirmer que, lorsqu'il est question de référent, celui-ci doit être pris non comme somme inorganisée de stimuli (au sens non sémiotique du terme), mais comme une entité appartenant à une classe (car ayant déjà fait l'objet d'une élaboration perceptive). En termes morrissiens, le référent ne saurait donc être un *denotatum*. Toutefois, nous n'assimilons pas le référent et le *designatum* de Morris. Ce dernier recouvre en effet deux choses qu'il importe de distinguer (Groupe μ , 1992 : 130-131) : le référent et le type. Le premier est actualisé et singulier; le second, que l'on peut rapprocher du signifié linguistique, est une classe et n'a d'existence que potentielle.

On se permettra ci-après d'être un peu technique pour décrire un aspect du processus : l'aspect pragmatique de la production et de la réception du signe iconique.

2.1. Production

Soit R un référent au sens qui vient d'être défini, et I son signe iconique.

Il est possible de décomposer I en un ensemble E d'éléments ou points² tels que chacun, outre ses coordonnées de position, donne la valeur de l'élément sur une des trois dimensions visuelles. Par exemple $E(x_i; y_i)$, situé en x_i et y_i sur la surface de l'image, aurait une certaine valeur de luminance, une certaine valeur de saturation et une certaine valeur de nuance; ces trois valeurs définissent le vecteur couleur pour ce point.

Nous disposons ainsi d'une description analytique exhaustive de I sous forme de tableau. Si l'image est iconique au sens indiqué au paragraphe 1, certains points du réseau I correspondront nécessairement à des points du réseau d'un référent R postulé, et d'autres non. La correspondance en question est réglée par une ou plusieurs transformations.

Il y a des points de I qui ne correspondent pas à R. Autrement dit, l'ensemble des éléments de I se partage en deux sous-ensembles I_1 et I_2 , tels que $I_1 + I_2 = I$ et que l'on ait entre R et I_1 , la transformation t_1 ; $R \xrightarrow{t_1} I_1$. Mais d'où proviennent les autres éléments, ceux du sous-ensemble I_2 ? Par définition, ils ne peuvent provenir du référent. Dès lors, il ne peuvent provenir que d'une seule source : de l'instance productrice d'image, que nous désignerons par P (cette instance productrice pouvant être une machine ou un humain). Étant produits par P, les éléments du sous-ensemble I_2 seront (au sens large) une transformation t_2 de P, et on aura $P \xrightarrow{t_2} I_2$.

Le schéma global du signe iconique et de sa production sera donc :

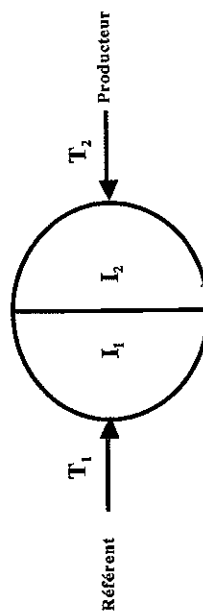


Figure 4. Production du signe iconique (première version)

Ce schéma simple a pour premier avantage de situer d'emblée l'image globale I en position médiatrice entre R et P. Car par la transformation, l'image visuelle retient quelque chose tant du sujet que du référent. Comme il n'y a aucune raison d'estimer que seule la partie I_1 est pertinente, le destinataire considère et interprète aussi bien I_2 que I_1 . Il peut ainsi remonter de I_1 à R en inversant t_1 , et de I_2 à P en inversant t_2 . La proportion de I_1 et

² Puisque le point géométrique n'a pas d'étendue, le mot point est ici à prendre comme équivalent de pixel (*picture element*) : cellule minimum de résolution, fonction du système de détection.

de I_1 est variable et le problème de la priorité de l'un sur l'autre dans l'interprétation reste ouvert. Mais l'important est ici de souligner que, pas plus dans l'image quelconque que dans l'image scientifique — mais la chose doit être vigoureusement soulignée dans le cas de cette dernière —, il ne saurait y avoir de reduplication passive du réel dans l'image : cette-ci est non un instrument de reproduction, mais bien un instrument d'intellection.

En résumé, le signe iconique possède certains caractères du référent, conformément à la définition classique. Mais corrélativement, il possède aussi certains caractères ne provenant pas du modèle mais du producteur d'image; dans la mesure où ce producteur est lui-même typé, le signe fonctionne une seconde fois en permettant sa reconnaissance. Enfin, affichant d'autres caractères que ceux du référent, il se montre distinct de lui et respecte le principe d'altérité qui fait partie de la définition classique du signe.

Le signe iconique est donc un signe médiateur à double fonction de renvoi : au référent du signe et au producteur.

Il faut toutefois noter que si la transformation t_1 est exclusivement visuelle, la transformation t_2 , dont l'étude n'a jusqu'ici jamais été abordée de façon positive, ne l'est absolument pas, même si son point d'aboutissement est visuel. On aurait pu croire en effet que la prise en considération du récepteur est oiseuse, au nom de cette idée que dans l'image scientifique le producteur est souvent aussi l'interprète. Mais ce serait là oublier la complexité de la chaîne que nous avons décrite, et le fait que l'image est toujours, en définitive, mise à la disposition d'autres interprètes. La transformation t_2 doit donc être prise en considération. Elle peut par exemple définir le point de vue scientifique pris sur l'objet. Elle fait apparaître le rôle de l'hypothèse de la recherche, de l'état de la science au moment du travail, des goûts du chercheur ou de son équipe, du style qu'il adopte d'habitude dans la résolution des problèmes qui se posent à lui, autant que celui des déterminations sociologiques ou économiques qui pèsent sur lui.]

Mais notre schéma est encore incomplet, car si le référent R et le producteur P interviennent tous deux dans la constitution du signe, le choix d'un code expressif C — "la langue danoise", la "peinture à l'huile", "le vitrail" mais aussi "la radiographie", "la carte", "le stéréogramme" ... — impose lui aussi des contraintes spécifiques qui se retrouvent dans le produit final. C'est donc plutôt par une tarte à trois quartiers qu'il faudrait représenter la chose.

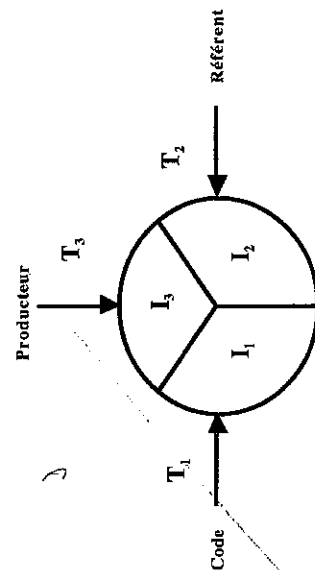


Figure 5. Production du signe iconique (seconde version)

L'intervention du code se traduit par un façonnement inévitable des énoncés : un formatage, dirait-on en langage informatique. La nuance à établir entre la codification relativement forte d'une langue naturelle et la codification relativement faible d'une expression iconique ne fait que modifier la part prise par I_3 . Mais quel que soit le médium utilisé, le code se trouvera toujours en position médiatrice : c'est en lui que fusionneront et/ou coexisteront les éléments interréceptifs issus de l'émetteur et les éléments interéceptifs extraits du référent. On retrouve une fois de plus le modèle triadique (cf. Groupe μ , 1990) si on accepte le terme général de Logos pour désigner l'ensemble des codes possibles. Peut-être est-ce là, en définitive, la fonction fondamentale du Logos, le point de vue devenant simplement, dans cette perspective, la composante interréceptrice de tout énoncé.

Dans le cas de l'imagerie scientifique, ces considérations font apparaître le rôle de l'ensemble des théories explicatives et celui de l'appareillage technique au moment de la production de l'image.

2.2. Réception

La transformation, telle qu'elle a été présentée jusqu'ici apparaît comme une caractéristique de l'énoncé I, produite à la fois par le référent R, l'instance énonciatrice P et le code C.

Mais il faut aussitôt ajouter que la transformation est également un travail produit par l'instance réceptrice : soit le destinataire (D), dont nous avons vu qu'il fallait, en droit, le distinguer de P. Nous devons donc dédoubler t_2 (t_2' et t_2''). Car — à une nuance important près, à laquelle nous reviendrons — la transformation, c'est-à-dire la relation entre signifiant et référent, est une relation en principe réversible. On veut dire par là que cette relation n'a pas d'orientation définie, et si la notion de transformation vaut pour la production d'un signe iconique (modélisation d'un signifiant à partir d'un modèle sémiotisé du référent), elle vaut autant pour la réception de ce signe. Cette réception consiste en effet en la reconstitution d'un référent modélisé à partir d'un signifiant. Pour aboutir à ce produit reconstitué, on inverse la transformation supposément opérée au cours de l'émission. Je puis par exemple reconstruire un animal à partir de sa photo. C'est évidemment le type qui guide cette transformation inverse : il permet de faire des hypothèses sur R.

Nous avons dit que la relation de transformation était en principe réversible. Elle ne l'est toutefois pas totalement dans les faits, pour deux raisons. Tout d'abord, au cours de la transformation référent \rightarrow signifiant, certains traits de R ont été irrémédiablement perdus. Ensuite, se faisant à l'aide du type, la transformation signifiant \rightarrow référent est hasardeuse : si je ne cours guère de risques à postuler la tridimensionnalité d'un animal à partir d'un signifiant en deux dimensions, j'en cours davantage à reconstruire la couleur exacte d'un objet qui m'est présenté sous la forme d'une photo en noir et blanc; tout au plus puis-je postuler qu'il a bien une couleur. Dans la mesure où l'image scientifique est une fonction herménéutique — il s'agit bien de mettre en évidence non une chose comme une chose inconnue, nous ne disposons pas de types stables pour opérer sans risque la transformation signifiant \rightarrow référent. Une partie de I est certes constituée par

l'invariant, mais le reste est reconstruit de manière hypothétique. Nous reprendrons plus loin ce problème de l'accès à l'inconnu (paragraphe 4).

Par ailleurs, du fait que le sujet regardeur est mis en présence d'une structure médiatrice, il est lui-même placé en position médiatrice. On veut dire par là qu'il arbitre la répartition des trois composantes essentielles du signe iconique telles qu'elles sont schématisées dans la figure 4.

Le travail de production d'une image scientifique est donc bien le résultat d'une double médiation : production d'images et décodage d'images. Il est important de souligner que c'est pour des raisons de clarté théorique que l'on distingue ici production et réception. L'intervention de D dans la phase de production des signes est capitale dans l'image scientifique, puis que la mise au point préalable des instruments de sélection des données constitue déjà, par avance, une lecture des phénomènes à observer.

3. Y a-t-il une spécificité de l'image scientifique ?

3.1. Opposition entre l'image quelconque et l'image scientifique

La définition fournie de la transformation laisse assez prévoir qu'il n'y a pas de spécificité technique de l'image scientifique. Que l'image soit obtenue par radiographie ou scintigraphie, par le pinceau de maître ou le crayon gras, ce sont les mêmes règles sémiotiques qui s'appliquent. S'il y a des spécificités, c'est sur le plan pragmatique qu'il faudra les chercher. Dans chaque cas, ce que l'on aura, c'est l'application à l'icône d'un caractère définissant tout discours scientifique, quelle que soit la forme qu'il prenne (verbale, algorithmique, etc.). Ce processus d'application se fera, le plus souvent, par des restrictions apportées aux processus de transformation, et notamment à celui de la phase 2.2. du tableau I, restrictions destinées à assurer un meilleur contrôle de l'opération.

3.1.1. Stabilité

La première caractéristique opposant le discours scientifique aux autres est la suivante : le sens scientifique est par définition destiné à se stabiliser, la science visant à la généralité. Cette stabilité est une propriété à la fois sociale et temporelle. Sur le plan social, le savoir scientifique est partagé, et la restructuration scientifique du sens obtenu en 2.2. ou 3.2. se donne pour universelle. Sur le plan temporel, la restructuration scientifique se veut aussi universelle ; c'est-à-dire qu'elle vise la permanence. Du moins — et il faut insister sur ce dynamisme — jusqu'à ce qu'un nouveau découpage vienne la relativiser : la permanence du discours scientifique est provisoire, et n'est maintenue que dans le cadre d'un modèle de référence auquel un autre modèle peut toujours être préféré. Les images scientifiques sont donc toujours exécutées de manière à pouvoir être comparées les unes aux autres, selon des critères explicites. C'est de cette manière qu'elles peuvent autoriser la prévision.

En corollaire, il faut noter ceci : la science se donnant comme générale, on y perd toute appréhension phénoménologique des phénomènes dont elle s'occupe. On a d'ailleurs dit en commençant qu'elle se souciait de ménager une distance entre l'objet et l'observateur, distance qui a inévitablement sa contrepartie sur le plan psychologique. Il est bien vrai que l'image scientifique apparaît comme "assez loin de la réalité" aux yeux de beaucoup. Non seulement il faut au grand public un effort d'imagination et même de foi pour admettre les interprétations élaborées en 3.2., mais encore le produit de la transformation 2.2. peut-il apparaître comme n'ayant plus rien à voir avec l'émission naturelle. De même que nos enregistrements vocaux nous paraissent étranges, on a peine à se reconnaître dans une radiographie.

3.1.2. Contrôle de l'interaction

L'observation comme la mesure sont des transformations. Elles sont en effet toujours fondées sur des interactions entre deux systèmes (interactions qui constituent donc des indices, au sens peircien du terme). On ne peut en effet détecter dans un système donné a un processus ou une propriété — un mouvement, un volume, une scintillation — que parce que ce processus est en interaction avec un système b (système de référence et de mesure). On est donc en présence de deux systèmes dont l'un, b , est sous contrôle, et l'on déduit l'image du processus ou de la propriété de a à partir des transformations opérées dans le second système b . C'est par exemple ce que l'on a appelé la méthode des perturbations en mécanique (c'est elle qui a permis d'établir l'existence d'astres jusque là inconnus). On voit parfaitement que le premier système a correspond à R dans notre schéma, et que le système b correspond à P . L'interaction produit donc l'image.

Dans l'image scientifique, on entend contrôler les interactions. On sait par exemple que lorsque cette dernière s'opère entre deux systèmes dotés de la même puissance, l'observation cesse d'être orientée : le système observant, qui produit t_2 , agit sur le système observé, producteur de t_1 . Et l'on ne peut dès lors plus rien conclure sur ce dernier. C'est le principe bien connu d'indétermination, formulé par Heisenberg. L'image scientifique entend limiter sévèrement et contrôler la part prise par t_2 dans le processus exclu, de bi-univocité.

3.1.3. Auto-régulation et seuillage

La troisième opposition réside dans le caractère autorégulé du discours scientifique. Malheureusement, il limite non le nombre d'entités dont il fait son objet, mais bien le nombre de leurs qualités et celui de leurs relations. Pour cela, il se donne des règles très restrictives. Ce sont par exemple les principes d'économie, de non-contradiction, du tiers exclu, de bi-univocité.

L'image scientifique tend vers l'idéal général qui vient d'être rappelé. Elle le fait parfois en actualisant une propriété générale du discours scientifique, et parfois en mobilisant ses ressources spécifiques d'image. Certaines de ces règles sont en effet propres à toutes les sémiotiques, d'autres sont propres à une sémiotique particulière ; certaines interviennent en 2.2., d'autres en 3.2. Ainsi, la non-contradiction concerne au premier chef le discours verbal, alors que les différentes techniques de seuillage,

auxquelles on va revenir et qui sont destinées à assurer l'économie, sont propres aux sémiotiques iconiques.

Sur le plan général, on soulignera qu'en 2.2. l'image scientifique sélectionne sévèrement les aspects de l'objet observé (par exemple sa forme et sa densité, ou sa forme et sa chaleur), et tend à la bi-univocité en codifiant étroitement le rapport entre les variations d'un paramètre de l' (une couleur par exemple) et celles d'un aspect de R (sa température, par exemple). On y arrivera par exemple en limitant le nombre de transformations opérées, et en optant pour les transformations qui apparaissent les moins destructrices des traits de R. C'est dire le rôle particulier de t_3 dans le processus.

Cet important problème de la sélection des aspects de l'objet observé aboutit à la technique du seuillage. Pour bien expliquer le rôle de cette dernière, il faut faire un détour par le phénomène de la redondance.

Le mot de redondance a été employé parfois à propos des stimuli visuels (Groupe μ , 1992; Ruelle, 1991). Or il nous faut démontrer que c'est à tort, ou que c'est en tout cas à condition de faire subir au mot un considérable changement de sens. C'est seulement en théorie de l'information que le mot redondance peut recevoir un sens précis, et même une valeur chiffrée. Ce concept y recouvre les méthodes employées pour garantir la sécurité de la transmission. Si toutes les combinaisons possibles à partir des signes d'un répertoire sont des messages acceptables, alors il sera impossible de détecter une erreur puisque n'importe quelle altération nous fait simplement passer d'un message à un autre. Pour écarter ce risque, il faut imposer des restrictions aux messages en y ajoutant des positions de contrôle, rendant les messages auto-correcteurs. Les numéros des codes bancaires en sont un exemple bien connu, puisque les deux derniers chiffres ne déclinent pas notre identité mais bien une propriété du nombre principal. C'est comme si on avait dit deux fois la même chose, et cela s'appelle une redondance³. Le taux estimé de la redondance des langues naturelles est de l'ordre de 55%. On voit que le concept ne s'applique valablement qu'à des messages, groupes de signes délibérément expédiés d'un émetteur à un récepteur aux fins de communiquer.

Or les stimuli visuels qui nous parviennent, que nous cherchons à capter ou que nous obtenons en transformant des phénomènes non visuels, ne sont nullement des signaux au sens ci-dessus : ils sont de l'ordre de l'indice. De sorte qu'ils ne comportent par définition aucune redondance visant à sécuriser une communication.

Pendant il est bien exact que nous ressentons souvent un excès dans les stimuli visuels. Lors de procédures d'interprétation des stimuli visuels, nous faisons usage des propriétés de ceux-ci, parmi lesquelles des propriétés de surface (texture et couleur) et des propriétés de limite (contour). Or il se fait que texture et couleur, toutes deux propriétés de surface, sont coextensives. Lorsque la texture change, la couleur change généralement aussi, et c'est ce que nous avons appelé la loi de concomitance : un pré et une route asphaltée se distinguent l'un de l'autre aussi bien par leur texture que par leur couleur, de sorte que texture et couleur sont l'une par rapport à l'autre dans une relation qui ressemble bien à une redondance. Quelques traits déformés, tracés dans un plan, et circonscrivant un espace vide peuvent suffire à faire reconnaître le type "être humain". Cela signifie-t-il que

³ Les positions de contrôle n'apportent pas d'information extérieure au message, mais seulement une information sur le message.

les composantes exclues — par exemple la couleur, la texture, le relief, l'ombre, etc. — étaient redondantes ? En vérité tout est ici affaire de seuillage.

Les différenciations que nous faisons dans les spectacles visuels dépendent en effet de nous. Si nous nous contentons d'une analyse en sombre/clair (comme on pourrait le faire par exemple pour décider de l'ouverture d'un objectif photographique), nous plaçons un seuil unique de discrimination, et de façon arbitraire. Si nous désirons identifier des objets correspondant à des types établis (par exemple des hommes, des arbres ou des vaches), il nous faudra établir des seuils beaucoup plus nombreux. Si le type à identifier est le type "être humain", il est exact que quelques traits suffisent, et que des détails comme l'ombre sur la peau, la couleur de celle-ci, etc., seront superflus. Mais, si le type à identifier est "homme asiatique", alors certains traits comme /couleur/ ne jouent plus le rôle d'unités de contrôle, mais apportent une information. On est donc fondé à se rappeler que les types s'emboîtent, selon un schéma hyperonymique - hyponymique ("homme", "homme asiatique", "homme asiatique âgé", "homme asiatique âgé blessé à la main", "homme asiatique âgé blessé à la main et ayant eu la petite vérole", etc.). Un trait donné est jugé redondant en fonction des types situés à un niveau supérieur de la hiérarchie, mais il ne l'est pas par rapport aux types situés à des niveaux inférieurs. Ceci prouve bien que nous ne sommes pas vraiment en face d'une redondance au sens de la théorie de l'information.

Concluons : l'ensemble des éléments qui nous font penser à une redondance se situe en fait en dehors de la structure des phénomènes visuels eux-mêmes, et c'est pourquoi l'analyse de nos décisions interprétatives. Dans l'image scientifique, on tente de gérer explicitement le niveau de redondance, en déterminant le niveau désiré d'apparition d'une information. C'est la technique du seuillage, par laquelle l'information est concentrée en certaines zones (par exemple des lignes, figurant par différenciation les endroits où une variable change rapidement de valeur), l'espace séparant ces zones étant le lieu d'une information nulle. La prétendue redondance dépend donc des seuillages que nous opérons.

Mais si le nombre minimum de seuils imaginable est 1 (afin de distinguer deux champs), quel en est le nombre maximum ? Le fait qu'il existe ou non des types stabilisés utilisables ne doit pas intervenir. On peut imaginer que le nombre de seuils augmente infiniment, jusqu'à épuiser toutes les distinctions perceptibles, et à faire du même coup disparaître toute redondance. On atteindra alors une limite physiologique, correspondant au pouvoir discriminatoire de l'œil (soit un angle solide de 0,4 minutes d'angle) ou de l'appareillage. Mais les cellules nerveuses situées dans l'œil (bipolaires, amacrines et ganglionnaires) sont organisées de telle sorte qu'elle réalisent une sorte de lissage entre stimuli voisins, ce qui diminue le pouvoir discriminatoire réel; d'ailleurs le papillonnement, les phosphènes et autres phénomènes quantiques parasites posent également une limite physique à l'acuité de la perception.

Comme l'œil est en dernière analyse l'interprète final des images, on doit tourner la difficulté en ayant recours à des techniques de détection ayant des limites plus favorables que l'œil (essentiellement des radiations à longueurs d'onde plus courtes que le visible). On peut ainsi descendre la limite, et par une transformation banale (l'agrandissement photographique par exemple) améliorer les performances de l'œil.

Groupe μ — L'image scientifique

À nouveau la limite sera ici l'indétermination de Heisenberg, où le processus de mesure modifie d'une façon irréductible ce qui est mesuré.

3.1.4. Homogénéité des transformations (voir l'hétérogénéité)

Enfin, un aspect spécifiquement iconique de ces restrictions est le suivant : les transformations de la phase 2.2. tendent à y être toujours homogènes. Autrement dit, elles tendent à opérer uniformément sur tout le champ de l'énoncé, qu'elles soumettent à une règle unique. Une hétérogénéité (une anamorphose dans la photographie, par exemple) aurait en effet pour résultat d'attribuer à R des accidents provenant en fait de l'appareil transformateur. Évidemment il s'agit là d'une tendance : de telles hétérogénéités peuvent être constatées⁴. Mais une constante pragmatique est de tenter d'éviter l'hétérogénéité, ou au moins de la corriger dans le cadre de la restitution.

Munis de ces précisions, nous pouvons maintenant décrire de manière récapitulative le schéma de la production et la réception de l'image scientifique.

3.2. Production et réception de l'image scientifique

3.2.1. Production (phases 2.2. et 2.3.) appareil capteur / transformateur

On définit préalablement un point de vue sur l'objet : forme, densité, mouvement, rayonnement, propriété magnétique, chimique, température... On ne peut en effet interroger le monde qu'en partant de choses connues (on verra ci-après le sort qui est fait aux informations radicalement neuves), en sélectionnant a priori les catégories d'informations à recevoir. C'est le travail de modélisation. Il s'agit donc, dans notre schéma, de construire.

1. Il faut ensuite mettre au point une technique permettant à la fois d'isoler l'aspect choisi de façon à en fournir un signe visuel et de le mesurer. C'est l'appareillage, qui rendra possible et la transformation t_1 et la mesure. On a déjà parlé de ce processus, que nous avons abordé lors de notre étude du rehaussement⁵. Mais les méthodes de mesure sont également des transformations. Elles sont en effet toujours fondées sur des interactions entre deux systèmes, du type de celles que nous avons déjà décrites.

⁴ « Dans le cas de l'optique, le rayonnement dans l'axe est généralement moins atténué qu'un rayonnement oblique. Dès lors, lorsqu'une image est formée par ce système, les parties d'image loin de l'axe seront atténuées par rapport aux parties situées près de l'axe » (Acheroy, 1990 : 20).

⁵ Notons au passage que l'anonyme du rehaussement est le camouflage (cfr Étiénné, 1988). Le camouflage est en effet une procédure fondée sur la connaissance de la structure des éléments qui, dans des conditions normales, auraient permis la reconnaissance de l'objet. Une fois connues, ces structures sont modifiées soit par l'adjonction d'éléments, soit par la destruction d'éléments. On a donc un camouflage par soustraction (par exemple, on estompe les contours de l'objet) et un camouflage par adjonction (par exemple, on ajoute des lignes diluant l'objet). Or, un rehaussement ne peut opérer qu'en présence d'une différenciation déjà existante, qu'elle se contente d'amplifier (il n'y a rien à rehausser dans une étendue blanche uniforme). Le camouflage tend, lui, à faire plonger le référent en dessous de la ligne à partir de laquelle il ne peut y avoir rehaussement. Il met donc cette dernière opération en échec.

Groupe μ — L'image scientifique

3.2.2. Réception (phases 3.1. & 3.2.) : transformations admises et transformations récusées

La réception est ici la production d'une interprétation. Il s'agit également d'une transformation, puisque le travail produit par l'instance réceptrice a également ce statut.

Parmi ces transformations, il y en a d'admises et d'autres qui sont récusées au nom des restrictions scientifiques énumérées plus haut.

Les transformations en principe récusées sont de trois types.

1/ Tout d'abord celles qui sont dues ou attribuées à l'imperfection de l'appareillage ou des organes récepteurs humains. Par exemple, les étoiles ont toujours été présentées sous une forme à rayons. On sait qu'il s'agit là d'une illusion visuelle due à la diffraction de la lumière dans l'œil. Quant à l'aspect en croix des photographies d'étoiles, il est dû à la diffraction de la lumière par « l'araignée », support du miroir secondaire du télescope (Henry, 1983).

Il est donc difficile de distinguer les distorsions dues à l'œil d'une part et à l'appareillage de l'autre, puisqu'ils sont dans le prolongement l'un de l'autre (cfr 1.2.2.). On a récemment résolu (Gordenne & Malchair, 1988) le problème posé par un certain halo visible sur les plaques radiographiques et sur lequel il existait une importante littérature en mammographie; ses causes étaient jusqu'ici recherchées dans R — l'hypothèse étant qu'elles correspondaient effectivement à une modification des tissus adjacents — et d'autre part dans l'appareillage. Mais un examen plus soigné au densitomètre, non sujet à des illusions, fait apparaître que ce sont en fait des bandes de Mach, produites par une illusion sensorielle fondée sur le phénomène de l'inhibition latérale : le responsable était donc l'œil de l'observateur⁶.

1. Ici encore, il s'agit donc de contrôler le travail de t_2 .

2/ Deuxième type de transformations récusées : celles qui sont dues au bruit. Dans tout signal brut reçu, il y a en effet un signal proprement dit et un bruit, seul le premier étant considéré comme significatif et interprétable. Le bruit, dont on décreta qu'il n'est ni significatif ni interprétable, est dû, par exemple, aux imperfections du processus d'observation ou à des processus en principe exclus de l'observation de R mais intervenant néanmoins dans l'interaction. Ces bruits peuvent être, outre l'imperfection ou le mauvais réglage de l'appareillage, les « mouvements de la caméra ou de l'objet, les imperfections de mise au point de l'optique, la turbulence atmosphérique, la plus ou moins grande dispersion du milieu, l'imprécision et les non linéarités des transducteurs de mesure, le bruit introduit par les circuits électroniques utilisés, les défauts de transmission et de reproduction » (Acheroy, 1990). Or, signal et bruit sont véhiculés simultanément, de sorte qu'il n'existe aucun moyen de les distinguer immédiatement l'un de l'autre. Il est donc important soit de dépouiller l'image de son bruit, soit de donner un statut significatif à ce bruit⁷.

⁶ On se trouve ainsi amené à un paradoxe, puisque un signal non visuel (des rayons X) est rendu visible par un cliché photographique, examiné par les yeux... puis conféré à une nouvelle machine.

⁷ Pour extraire et isoler le bruit de l'information globale — première technique —, on se livre en général à des considérations statistiques, fondées sur l'hypothèse que la production du bruit est aléatoire (exemple : lissage de courbes). Pour rendre le bruit significatif — seconde technique —, on recourt à des techniques fractales (Barnsley, 1988).

3/ Troisième type de transformations récusées : celles qui sont dues au dysfonctionnement du code. Ici, c'est t_1 qui est en cause. Le modèle peut en effet être biaisé par les erreurs antérieures commises au cours de processus t_1 et t_2 (c'est le cas pour le halo autour des tumeurs décrit plus haut), par des idées préconçues, par l'idéologie, voire par la fraude ou la manipulation.

4. L'interprétation et la nouveauté

Un des objectifs de la science est de « découvrir » des nouveaux aspects du réel. Ce qui semble contradictoire avec tout ce que l'on a exposé des méthodes d'imagerie. Celles-ci semblent tabler sur l'exploration du déjà connu : la mise au point de mécanismes de seuillage ou de rehaussement suppose que l'on ait déjà, partiellement au moins, la maîtrise du phénomène. Ceci n'a rien d'étonnant quand on songe que l'appareillage est le plus souvent une excoissance de l'appareil optique humain : celui-ci a des attentes, des a priori. À cet égard, l'appareillage lui est supérieur, qui n'a d'a priori que contrôlés, donc explicites⁸.

La question est donc comment le radicalement neuf peut-il être repéré ? Comment peut-on détecter, et mesurer, les objets non encore décrits ? Et, s'agissant en particulier de ce qui doit être connu à travers des signes iconiques, comment atteindre le référent à travers le signifiant, si l'on ne dispose pas d'un type relativement stable ?

En définitive, la définition sémiotique de la nouveauté est soumise à une décision pragmatique. Ou plutôt à une double décision : celle d'attribuer ou non au signe iconique une valeur indiciaire (autrement dit de lui assigner comme source un référent qui l'a produit), et celle de le ramener ou non à un type connu, préexistant. Les différentes options possibles peuvent être synthétisées dans le tableau 6.

attribution d'une valeur indiciaire	non	peut-être	oui
Préexistence d'un type			
oui	Léonard devant un vieux mur	Le chasseur à l'affût	Lecture ordinaire. Scannage de routine
non	procédure de découverte		

Figure 6. Typologie des situations interprétatives;

⁸ L'interprétation automatique de photos aériennes est possible parce que nous avons pu sémantiser chaque configuration de texture. Des diatomées ont permis de tester la validité de chacune d'elles. Le répertoire des configurations contient la liste complète des sites repérables, et tout ce qui ne peut être ramené à l'un d'eux est considéré comme bruit, ou artefact, ou indifférent. Dans ces conditions on ne verra que ce qu'on est prêt à voir. Il en va de même pour des images stellaires, où on peut chercher des configurations d'un type déjà repéré : nébuleuses spirales ou elliptiques, trous noirs, naines blanches, quasars, etc. Dans le procès cognitif il y a simultanément imposition d'un ordre, et suppression ou refus du non conforme. C'est à nouveau le "conflit" entre un modèle et le réel (empirique).

La contemplation d'un vieux mur peut être neutre — un philosophe zen dirait « ce n'est rien qu'un mur » — ou déboucher sur la contemplation de visages, de palais, de forêts. Mais le regard sait que ces visages sont une pure projection de lui-même et ne sont l'indice d'aucune réalité. Le « chasseur à l'affût » est, lui, muni de types préexistants, qu'il projette sur l'univers : une bécasse, ou un chevreuil, peut survenir, mais il est possible que rien de tel ne se produise. Dans la case "lecture ordinaire", on projette le modèle sur sa manifestation attendue. Seules les deux cases "type non préexistant" + "valeur indiciaire" correspondent à la procédure de recherche scientifique.

Dans cette quête de nouveauté, il semble bien qu'on ne puisse jamais faire l'économie d'une comparaison dans plusieurs manières de l'interpréter. On ne peut encore décrire avec des référents et donc avec des types connus.

Il arrive fréquemment qu'au moment du décodage, on constate dans l des écarts par rapport à ce que l'on attendait si le référent devait être conforme à un type attendu. Mais quel est le statut de ces écarts ? Est-il attribuable à t_1 ou à t_2 ? Par hypothèse, cet écart dans l ne peut provenir de t_2 , puisque cette transformation est sous contrôle. Il est donc attribuable à t_1 , donc à un référent que nous appelons ici phénomène inconnu. Mais si un phénomène quelconque peut être détecté par un appareillage existant, c'est parce que ce phénomène a au moins un point en commun avec ceux qui sont connus, et étudiés par cet appareillage. On a donc, dans le phénomène inconnu, deux parties, la première maîtrisable grâce aux modèles — aux codes — existants et la seconde qui ne l'est pas. "Le nouveau" sera donc l'écart irréductible.

Comment ce nouveau peut-il être approché ? Il faut ici se souvenir de la loi générale selon laquelle R ne peut être atteint qu'à travers le type. C'est donc le réservoir de types qui doit être complété ou modifié. Et la révision des codes ne peut être proposée, dans le monde de la science, autrement que sous la forme de l'hypothèse, c'est-à-dire par un acte d'imagination (cfr Moles, 1957). Le paradoxe est donc que l'on ne peut progresser qu'en abolissant les modèles. Car tout ce qui est préconçu constitue un obstacle à la perception de la nouveauté. Certes, la modification du code ne pourra être validée que si l'on dispose de nouveaux appareils de mesure, et donc que si l'on agit sur P. Mais l'essentiel, dans la production de la nouveauté scientifique, est le travail créatif opéré sur le code, travail qui devra être proposé à la communauté scientifique au cours d'une véritable négociation.

La nouveauté scientifique a donc en définitive le même statut qu'une innovation rhétorique (cfr Groupe μ , 1994, Édeline, à paraître, Klinkenberg, à paraître). L'écart scientifique, comme l'écart rhétorique, a pour effet de modifier le code. Tous deux sont simultanément contestation d'un ordre antérieur et confirmation de cet ordre, confirmation de l'existence d'un système, mais aussi réorganisation continue des relations entre les unités de ce système.

Références

- ACHEROY, M., 1990, "De l'échantillonnage à l'interprétation", *Journal des ingénieurs*, n° 37, juillet-août 1990 : 14-23.
- BARNESLEY, Michael, 1988, *Fractals everywhere*, Academic Press.
- ÉDELINE, Francis, 1988, "Réflexions sur le camouflage", *Art & Fact*, 7 : 129-133.
- , à paraître, "Figures et production de sens", Actes du Colloque international *Sémiotique et rhétorique*, 1995, Albi, à paraître aux Presses de l'Université de Toulouse-le-Mirail (éd. Michel Ballabriga).
- GORDENNE, Willy, MALCHAIR, F., 1988, "Mach bands in mammography", *Radiology*, 169 : 55-58.
- GROUPE μ [DUBOIS, J., ÉDELINE, F., KLINKENBERG, J.-M., MINGUET, Ph.], 1990, *Rhétorique de la poésie*, Paris, Le Seuil (= Points, 216)
- [ÉDELINE, F., KLINKENBERG, J.-M., MINGUET, Ph.], 1992, *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Le Seuil (= La couleur des idées).
- [ÉDELINE, F., KLINKENBERG, J.-M.], 1994, "Sens rhétorique et sens cognitif", *La rhétorique et la sémiotique. Rhetorics and Semiotics*, n° spécial de *RSSI. Recherches sémiotiques. Semiotic inquiry*, XIV, 3 : 11-23
- [ÉDELINE, F., KLINKENBERG, J.-M.], 1995, "Style et communication visuelle", *Protée*, printemps 1995 : 29-36.
- HARALJICK, Robert, 1979, "Statistical and structural Approaches to Texture, *Proceedings of the I.E.E.E.*, 67, 5 : 786-804.
- HENRY, Michel, 1983, Université Pierre et Marie Curie, Communication personnelle.
- IMBERT, Michel, 1983, "La neurobiologie de l'image", *La recherche*, XIV, 144 : 600-613.
- KLINKENBERG, Jean-Marie, à paraître, "Métaphore et cognition", Actes du colloque international *La métaphore entre philosophie, linguistique et rhétorique*, à paraître aux Presses Universitaires de Strasbourg (éd. Namine Charbonnel).
- JOLY, Martine, à paraître, "V.V.V. Visuel/Visible/Vérité", Actes des VII Journadas Internacionales de Semiótica. Ver y creer, Universidad del País Vasco (éd. José-Maria Nadal et Santos Zunzunegui).
- LATOUR, Bruno, FABRI, Paolo, 1977, "La rhétorique de la science. Pouvoir et devoir dans un article de science exacte", *Actes de la recherche en sciences sociales*, 13 : 81-95
- MOLES, Abraham, 1957, *La création scientifique*, Genève, Kister.
- RUELLE, David, 1991, *Hasard et chaos*, Paris, Odile Jacob.
- SONESSON, Göran, 1989, *Pictorial concepts, Inquiries into the semiotic heritage and its relevance for the analysis of the visual word*, Lund University Press (= Aris, Nova Series, 4).
- , à paraître, "An essay concerning images. From rhetoric to semiotics by way of ecological physics", *Semiotica*.