

IMAGES ET ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

Réintégrer l'image

Gérard Mottet

À quelles conditions les images pourraient-elles devenir des ressources d'apprentissage ? Telle est la question essentielle que développent, chacun selon sa perspective propre, les différents articles rassemblés dans ce numéro d'Aster. Sont concernés différents domaines de l'enseignement des sciences et de la technologie, différents niveaux depuis le primaire jusqu'à la formation professionnelle sans exclure la vulgarisation grand-public.

des ressources
pour apprendre

Que les images puissent favoriser des apprentissages, nul ne le remet en cause, du moins si l'on s'en tient à ce niveau de généralité. Le lecteur pourra s'en rendre compte sans peine, il s'agit là d'une conviction bien partagée : toutes les contributions ici présentées adoptent comme prémisses que les images constituent un potentiel pour apprendre. Mais quelles sortes d'images ? pour quels apprentissages et dans quels contextes d'activité ? Voilà qui est susceptible d'introduire quelques différences de centration ou d'argumentation.

Les difficultés de l'image

Les images dont il sera question au travers des expériences et réflexions rapportées dans ce volume peuvent être caractérisées par cette double dimension. Ce sont, d'une part, des *représentations sémiotiques* — plus ou moins "codées" — qui réfèrent aux objets et phénomènes étudiés. Ce sont, d'autre part, des *instruments* pour des activités d'observation, de traitement, de mise en relation, de structuration. Par l'une et l'autre dimension, l'apprenant (élève, étudiant, apprenti ou visiteur actif) se trouve ainsi relié à des savoirs et des pratiques de référence : d'un côté, l'on tend vers "l'image scientifique" proprement dite, du genre de celles utilisées par les spécialistes ; de l'autre, vers la "démarche scientifique" grâce aux activités et aux raisonnements que permet le format de représentation. Ainsi l'image ne serait pas seulement un moyen de favoriser des apprentissages, mais de placer l'apprenant dans une situation comparable à celles du chercheur ou du professionnel : la plupart des contributions adoptent, plus ou moins explicitement, ce paradigme. En ce sens, le thème de ce numéro peut être considéré comme un cas particulier de "*transposition didactique*".

des contextes
de référence
aux usages
didactiques

La nécessité aujourd'hui ressentie d'une telle transposition provient de ce que les rapports entre images et apprentissages nous paraissent moins directs qu'on ne pouvait le

penser. Le recours aux images a longtemps trouvé sa meilleure justification dans les facilitations et soutiens qu'elles seraient susceptibles d'apporter aux élèves en difficulté. Mais est-il si simple de lire une image et suffit-il de lire pour apprendre ? Peu d'auteurs aujourd'hui se risqueraient à l'affirmer. Sur ce point, il est incontestable que les idées ont évolué. Naguère, l'on avait plutôt tendance à soupçonner les images, en raison de leur caractère "intuitif", d'apporter aux apprenants trop de facilités (que reste-t-il à faire si tout est donné à voir ?) et, partant, peut-être, de ne pas leur apporter suffisamment (suffit-il que l'image montre pour que l'on ait compris ?). Les didacticiens des sciences n'ont pas oublié les mises en garde de G. Bachelard et J. Piaget : la connaissance n'est pas fille de la perception ; sans doute l'image peut-elle "aider", par sa puissance de mobilisation, mais elle n'est point, en elle-même, source d'apprentissage. La tendance serait plutôt, désormais, à souligner les **difficultés de l'image** : l'image ne va pas de soi, percevoir une image n'est pas percevoir le réel mais devoir, à travers elle, le reconstruire ; et, dès lors, tout un ensemble de conditions — didactiques et cognitives — apparaissent comme indispensables pour transformer l'image en connaissance. Il est vrai que, depuis quelques décennies, des évolutions majeures se sont dessinées qui changent notre rapport aux images ; évoquons-en quelques-unes qui justement motivent le propos des articles ici rassemblés.

la facilité
des images n'est
qu'apparente

- Soulignons en premier lieu l'évolution récente des techniques d'imagerie, grâce auxquelles nous pouvons "voir l'invisible". Ces nouvelles images — de l'univers, de la matière, de la vie, du corps humain, de l'infiniment petit, de l'infiniment grand — sont difficiles en ce que les phénomènes qu'elles traduisent sont dénués de tout référent perceptuel et que leur interprétation nécessite des connaissances de haut niveau. Autrement dit, ces images de spécialistes deviennent difficiles dès lors qu'elles se trouvent coupées des contextes d'origine où elles ont leur emploi et leur sens. L'utilisation didactique de ces images est une préoccupation actuelle qui inspire un nombre croissant de recherches. Quelles transpositions opérer pour assigner à ces images une finalité éducative ? (voir par exemple les articles de P. Clément et de C. Gouanelle & P. Schneeberger pour l'imagerie biomédicale).

certaines images
résultent
de technologies
complexes

- En second lieu, les multiples façons dont l'information se trouve "mise en image" sont des sources persistantes de difficultés, en ce que les règles de codage ne peuvent jamais être totalement explicitées et varient d'un type d'image à l'autre. On ne peut manquer de noter ici une influence certaine des approches sémiologiques : celles-ci ont surtout concerné jusqu'ici ce qu'on peut appeler les "images de communication", dont on privilégiait plutôt la dimension "rhétorique" ; désormais, on prend une conscience de plus en plus aiguë que les "images de connaissance" — celles par le moyen desquelles est visée une connaissance des objets et

difficultés dues
aux règles
implicites
de codage

phénomènes — sont elles-mêmes traversées de nombreux codes. Parmi les dimensions les plus souvent évoquées ici-même, on peut prendre ces trois exemples. Certaines images — celles qu'on nomme couramment "images graphiques" pour les distinguer des "images figuratives" — traduisent, dans un espace abstrait de représentation, des données dont la nature n'est pas spatiale (articles de D. Beaufile & J.-C. Le Touzé, de P. Clément). Dans d'autres images, la difficulté provient de la représentation en 2D d'une information 3D, c'est-à-dire de la projection d'un volume sur un plan (P. Vérillon, P. Clément). Pour d'autres images, ce sont les moyens de représenter le temps et le mouvement qui semblent susceptibles d'entraîner des difficultés de compréhension (C. Gouanelle & P. Schneeberger, D. Beaufile & J.-C. Le Touzé, R. Lowe).

• Mais, par-delà même les problèmes de codage représentatif, se pose la question des instruments et traitements cognitifs que requièrent la lecture, la manipulation ou la production d'images. Les approches cognitives, développées depuis une trentaine d'années, apportent aujourd'hui des éclairages nouveaux sur la complexité des processus de traitement de l'information imagée : sans doute ces approches se sont-elles davantage préoccupées des "images mentales" (1) que des "images matérielles" inscrites sur des supports observables, mais il est certain que l'analyse des inscriptions figurales et des difficultés qu'elles recèlent peut amplement bénéficier des considérations dont les activités d'imagerie mentale ont pu faire jusqu'ici l'objet (pour peu que l'on n'omette pas, bien sûr, les aspects techniques et sémiotiques qui caractérisent les images matérielles). De ce point de vue, la complexité des images provient, non pas tant de leur "degré d'abstraction" par rapport à la perception ordinaire (ce qui n'est qu'un aspect partiel du problème), mais, plus essentiellement, des schèmes cognitifs qu'implique leur traitement : ainsi peut-on parler de "niveaux d'image" selon le degré d'organisation et de coordination de ces schèmes (articles de G. Mottet, P. Vérillon, R. Lowe). L'exemple le plus significatif de cette approche est certainement celui des graphismes techniques, et tout particulièrement l'identification des schèmes spatiaux, des "géométries spontanées" (au sens de J. Piaget), que requièrent la lecture et l'utilisation du dessin technique (article de P. Vérillon).

les images
impliquent
des traitements
cognitifs de
haut niveau

Quelles images ? Quelles activités ?

Les articles réunis dans ce volume évoquent différentes sortes d'images, les différences se situant simultanément sur plusieurs plans : technique, sémiotique, fonctionnel. Différentes sortes d'activités sont également évoquées, dont la signification par rapport aux images est variable.

(1) Cf., entre autres, les travaux de J. Piaget, A. Paivio, S. Kosslyn, M. Denis.

comprendre
l'image
et l'utiliser :
deux sortes
d'activités

Il est clair que certaines activités — qu'on pourrait appeler des "activités amont" — visent à obtenir une meilleure compréhension des images, et donc à surmonter les difficultés qui leur sont inhérentes (P. Clément, P. Vérillon, mais aussi C. Gouanelle & P. Schneeberger) ; alors que d'autres activités — "activités aval" — visent à utiliser les images, à les manipuler, à les intégrer comme éléments fonctionnels d'une démarche : dans ce cas se pose la question de la pertinence des images par rapport aux activités proposées (G. Mottet, D. Beaufils & J.-C. Le Touzé, A. Gay & Ph. Sabatier, J. Le Marec & M. Scrive). L'article de J.-Ch. Allain, paru par anticipation dans le précédent numéro d'*Aster* (n° 21) consacré à l'enseignement de la géologie, va également dans le sens de cette approche fonctionnelle.

l'appropriation
de l'image :
des stratégies
pédagogiques
différentes

Soulignons tout de suite que cette distinction entre **activités visant à comprendre l'image** (dans ses différentes composantes) et **activités visant à l'utiliser** ne recouvre pas cette distinction que l'on fait parfois entre "apprendre l'image" et "apprendre par l'image". Car ce qui est visé au travers des activités proposées, qu'elles soient amont ou aval, c'est bien toujours finalement la compréhension des objets ou phénomènes auxquels réfère l'image, cette compréhension transitant nécessairement par celle des modes de représentation par lesquels peuvent être justement saisis ces objets ou phénomènes. Cette distinction dénote plutôt une **différence de stratégie pédagogique** : ou bien l'on fait, un moment, "arrêt sur image", car la difficulté des images est telle qu'on ne pourrait les utiliser sans un temps préalable d'élucidation (notamment des procédés dont elles résultent), et c'est bien le cas des images dont la différence d'avec la perception ordinaire est grande ; ou bien l'on inclut cette compréhension des images dans leur utilisation même, considérant que le sens de l'image provient de l'activité dans laquelle elle se trouve insérée : « *l'image est alors inséparable de l'action à laquelle elle participe* » comme le disent justement, dans leur article, A. Gay, J. Gréa et Ph. Sabatier.

Quelle que soit la stratégie adoptée, qu'il s'agisse de proposer des activités qui préparent à une meilleure compréhension des images — et, donc, à leur meilleure utilisation — ou qu'il s'agisse d'intégrer les images dans une logique de l'action, en privilégiant alors leurs propriétés fonctionnelles par rapport à des tâches, il apparaît, à l'examen des différents articles, que les activités relatives aux images prennent des significations variables du point de vue des pratiques de référence auxquelles on peut les rapporter. Selon les auteurs, une plus ou moins grande similitude avec ces pratiques est soulignée. D'un côté, ce qui est proposé à l'apprenant, c'est précisément une "*transposition d'outils et d'activités*" au plus près de la "source", qui lui permette de vivre (ou, d'une certaine façon, de "revivre") une pratique scientifique de l'image (ainsi les articles de D. Beaufils & J.-C. Le Touzé, J. Le Marec & M. Scrive ou encore A. Gay &

les images : outils
et pratiques
scientifiques
de référence,
quelles
transpositions
opérer ?

Ph. Sabatier). D'un autre côté, l'on souligne plutôt une nécessaire transposition, c'est-à-dire une transformation plus ou moins importante, de manière à ajuster images et activités, d'une part aux perspectives d'apprentissage, d'autre part aux capacités mêmes des élèves selon leur niveau (P. Clément, G. Mottet, J.-Ch. Allain, C. Gouanelle & P. Schneeberger). Compte tenu du niveau des élèves, la transposition à des fins éducatives peut alors opérer sur l'un ou l'autre des deux registres, celui des images ou celui des activités. Dans un cas, l'objectif sera d'associer aux images d'origine des activités nouvelles, visant à les comprendre autant qu'à les manipuler : c'est justement le thème de la reconversion éducative des images scientifiques. Dans l'autre cas, il s'agira de rechercher si les images — lesquelles et dans quelle mesure — pourraient servir de supports à des démarches scientifiques : dans cette optique, les images apparaissent moins comme des sources d'information que comme des instruments de pensée (G. Mottet).

Comme on le voit, ces structures de représentation que sont les images peuvent donner lieu à de multiples activités.

une analyse
des activités
d'imagerie

- C'est le recensement systématique de ces activités — de lecture, de modification, de production — que nous tentons de faire dans l'article qui ouvre ce numéro ; après avoir dégagé les principes d'une classification des activités d'imagerie, nous nous centrons sur la "valeur opérative" spécifique des images et nous interrogeons sur les démarches de connaissance qu'elles permettent de déployer. Nous insistons tout particulièrement sur les multiples relations que les images permettent de construire : équivalences paradigmatiques et articulations syntagmatiques.

imagerie
scientifique
et schématisation
en biologie

- L'article de C. Gouanelle et P. Schneeberger concerne aussi bien la compréhension que la réalisation d'images. Il s'agit de déterminer dans quelle mesure des élèves de cycle moyen, sur le thème de la reproduction humaine, peuvent développer des apprentissages conceptuels à partir d'images biomédicales ; mais il s'agit surtout de rechercher par quelles activités ces images pourraient être mieux comprises : est surtout privilégiée l'activité graphique de schématisation à partir de vues simples ou composées.

une classification
des imageries
biomédicales

- Il est possible de comprendre l'imagerie biomédicale au moyen de quelques notions simples et structurantes : c'est la thèse que développe P. Clément dont l'article est consacré aux principes et procédés d'obtention de cette nouvelle iconographie du corps. La typologie qu'il propose s'organise autour de trois notions-clés : la transparence/opacité ; la réflexion de signaux ; l'émission de signaux — notions susceptibles, par le biais d'activités appropriées, de faire l'objet d'apprentissages dès les débuts de l'école primaire. Ces activités, à dimension ludique, dont l'auteur esquisse quelques propositions, permettraient ainsi, par la suite, d'accéder à une meilleure compréhension de ces images "mystérieuses" et "déroutantes".

le dessin
technique, objet
d'apprentissage

avec
des images,
faire de
la physique

schémas
scientifiques et
multimédia

des liens
images-textes
pour apprendre
à diagnostiquer

- Le dessin technique est le thème de l'article de P. Vérillon qui rappelle les nombreux travaux dont ce type de graphisme a fait jusqu'ici l'objet. Est soulignée la nécessité d'analyser le fonctionnement cognitif sous-jacent aux tâches d'apprentissage du dessin technique, de manière à en repérer les principales sources de difficultés. L'auteur en est ainsi conduit à présenter un ensemble de propositions didactiques visant à faire maîtriser par les apprenants les correspondances, relations et opérations fondamentales qu'implique cette construction graphique.
- L'article de D. Beauvils, J.-C. Le Touzé, H. et B. Richoux s'inscrit dans le droit fil de la "méthode graphique" inventée par ce pionnier de l'image scientifique que fut, à la fin du XIXe siècle, Étienne Jules Marey : l'orientation prise ici est celle où « *l'image est un élément d'une activité d'investigation scientifique* », non pas l'image pour montrer, mais l'image pour faire. Dans le cadre notamment de la mécanique newtonienne mais aussi de l'optique, il s'agit de proposer à des lycéens de classes scientifiques et à des étudiants un ensemble d'activités pratiques reposant sur un couplage de l'image et de l'ordinateur. L'écran devient ici le lieu de manipulation et de confrontation de multiples représentations graphiques, celles issues de l'expérience et celles qu'engendre le modèle théorique.
- L'ordinateur est également au centre des réflexions développées par R. Lowe, mais l'apport de l'outil se situe ici dans une toute autre logique : l'auteur voit dans le multi-média interactif une solution possible aux nombreuses difficultés d'interprétation que comportent, pour des étudiants novices, ces descriptions graphiques, relativement abstraites et spécialisées, que sont les schémas scientifiques ("*diagrams*"). Grâce aux animations et explicitations visuelles qu'il peut fournir à la demande, l'ordinateur serait ainsi susceptible d'assurer, par rapport au traitement cognitif de l'image, un rôle de facilitation et de guidage. Le traitement informatique apparaît alors comme le moyen de lever les difficultés de l'image et de permettre aux étudiants d'accéder à des niveaux de traitement plus pertinents, en prise directe avec les contenus scientifiques.
- Des images d'observation dans un hypermédia destiné à l'apprentissage professionnel d'une activité diagnostique : tel est l'objet du travail que présentent A. Gay et Ph. Sabatier avec le concours de J. Gréa. L'ordinateur permet surtout, dans cette optique, d'accéder à une grande diversité d'images présentant des cas pathologiques, d'articuler ces images à des formulations verbales, de les insérer, enfin, dans une activité de résolution de problèmes débouchant sur des prises de décision. Si l'image, fût-elle réaliste, ne se substitue pas à l'observation directe sur le terrain, elle permet néanmoins de fournir une base observationnelle suffisamment riche et variée sur laquelle vont pouvoir s'articu-

ler les savoirs théoriques, ainsi référés et contextualisés par le biais de l'image.

un jeu d'images
pour revivre
les démarches
des savants

• Dans l'article qui clôt ce volume, J. Le Marec et M. Scrive commentent les principes et les usages d'un produit interactif "*Le jeu des Naturalistes*", exposé, il y a peu, à la Cité des Sciences et de l'Industrie. Sur support informatique, images et activités ont ici pour but de faire revivre au visiteur les démarches de trois savants du XVIII^e siècle : Lamarck pour la classification des plantes, Cuvier pour la reconstitution d'animaux et Haüy pour la géométrie des structures cristallines. Il ressort des observations faites par les auteurs que le sentiment d'avoir appris est très lié, dans l'esprit de la majorité des usagers, aux possibilités interactives qui leur étaient offertes de manipuler les images. Une question cependant reste posée : dans quelle mesure l'activité que l'ordinateur rend possible peut-elle être identifiée à l'activité scientifique de référence ?

Des images aux activités d'imagerie

L'ensemble des articles, dont on vient de donner un bref aperçu, témoigne, à notre sens, d'une approche nouvelle de l'image, approche que nous qualifierons volontiers d'**opérative**.

les technologies
nouvelles

Sans doute peut-on y voir légitimement une influence des "*technologies nouvelles*", et notamment des possibilités quasi-illimitées de traitement et de manipulation qu'offre désormais la numérisation de l'image : que la moitié des articles de ce numéro concernent très directement l'utilisation d'images informatiques n'a rien de fortuit. Est-il nécessaire de rappeler à quel point l'imagerie d'observation scientifique, même quand les produits n'en sont disponibles que sur supports conventionnels, doit son essor actuel aux traitements informatiques ? L'ordinateur se situe aussi bien en amont de l'image pour la produire qu'en aval pour la manipuler, à tel point que l'image n'apparaît plus finalement que comme un **élément médiat** dans une chaîne de traitements.

les images sont
des éléments
d'activité

Ce qui nous semble nouveau, c'est la prise de conscience de ce caractère médiat et transitionnel de l'image par rapport à l'activité : l'image est une structure de données qui résulte d'un ensemble d'opérations et qui ouvre un espace possible d'opérations pour des tâches à définir. Les activités que nous avons précédemment appelées "amont" sont précisément celles qui visent à "refaire" l'image, à s'en réapproprier la genèse ou la structure, de manière à pouvoir la réinsérer dans une logique de l'action. D'une façon générale, ces activités de "compréhension" — qu'elles constituent des préalables à l'utilisation de l'image (par exemple P. Clément) ou qu'elles y soient intégrées (par exemple D. Beaufile) — visent à retrouver, sous les transformations réglées dont résulte l'image, les **équivalences symboliques** qui la caractérisent : ainsi peut-on déterminer sous quel rapport les traitements

appliqués à l'image équivalent, virtuellement, à des traitements sur la réalité qu'elle traduit.

Y a-t-il encore un sens aujourd'hui à se demander s'il vaut mieux travailler sur des images plutôt que sur la réalité ? Dans leur article sur le diagnostic d'élevage, A. Gay & Ph. Sabatier ne sont pas loin de se poser la question au sujet du "livre d'images" inclus dans leur hypermédia ; car, justement, les pathologies que ces images illustrent pourraient être observées *in situ*, ou presque... si l'occasion se présentait. Mais la réponse est vite donnée : outre les rapprochements et comparaisons multiples qu'elles autorisent, les images constituent une base de références communes (pour résoudre ensemble des problèmes et parler un même langage) ; ce sont comme des fragments empruntés au réel, mais replacés dans un autre univers, insérés dans un réseau de relations, grâce auquel ils deviennent accessibles, identifiables, manipulables. La question de l'intérêt des images ne se pose évidemment pas quand elles constituent le seul moyen d'explorer une réalité qui n'est pas autrement saisissable ou de concevoir des objets qui n'ont pas d'autre existence que celle que leur confère l'image. Est-il besoin, enfin, de faire remarquer que les images constituent les outils inhérents à certaines démarches scientifiques ou professionnelles ? Nous retrouvons là le thème de la transposition didactique, mais ce qui est à transposer, comme le soulignent en maintes occasions la plupart de nos auteurs, ce ne sont pas les savoirs mais les outils et démarches qui ont permis de les construire. L'intérêt des images, dans l'enseignement ou la formation, est alors non pas tant de constituer des sources d'information — complémentaires du verbal — que de constituer des instruments qui permettent aux élèves d'**apprendre des démarches** : ainsi en est-il du dessin technique pour la technologie, du schéma pour l'électricité, de la carte pour la géographie. Ainsi en a-t-il été de la chronophotographie pour l'étude du mouvement. Ainsi pourrait-il en être de l'imagerie biomédicale pour la connaissance du corps. La raison des images, s'il en est une qu'il importe de souligner plus que d'autres, c'est bien de fournir des instruments pour mettre en forme des données, rechercher des correspondances, établir des relations, passer d'un espace de représentation à un autre, bref conduire des activités de toutes sortes que nos modes naturels de percevoir, ni nos structures langagières, ne nous permettent pas de déployer. C'est bien dans le domaine des compétences méthodologiques (2) que les images trouvent leur plus profonde raison d'être.

À travers l'ensemble des articles ici réunis, une opposition entre deux sortes d'images est constamment rappelée et soulignée : **les images pour voir** et **les images pour faire**, celles qu'on ne peut que regarder et dans lesquelles il est

l'intérêt
des images est
précisément
de permettre
de faire...

... et
d'apprendre
à faire

(2) Cf. J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi, A. Vérin, *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, INRP, 1991.

voir et faire

difficile d'entrer, celles dont les fonctionnalités, et notamment les propriétés de "manipulabilité", permettent justement d'agir, de mettre en œuvre des procédures et des raisonnements pratiques. « À "l'image pour montrer", dit nettement D. Beaufils, nous avons préféré "l'image pour faire" » : les images de phénomènes physiques que l'on trouve dans les manuels scolaires ou dans les films ne permettent pas de travailler sur ces phénomènes ; ou bien elles se bornent à les évoquer ou bien elles montrent "ce qu'il faut voir", elles ne donnent rien à faire. Il faut donc concevoir d'autres images dont les caractéristiques répondraient très précisément aux besoins de l'activité scientifique. Dans "Le jeu des Naturalistes", J. Le Marec et M. Scrive soulignent la différence très nette entre deux scénarios. Celui de zoologie permet au visiteur de manipuler les fragments osseux pour reconstituer, à la manière de Cuvier, le squelette de l'animal disparu. Celui de minéralogie ne fait que dérouler, par image de synthèse, sans que le visiteur ne puisse à aucun moment intervenir, le spectacle des transformations géométriques, mises en évidence par Haüy ; l'absence de manipulation, font observer les auteurs, engendre un sentiment de relative incompréhension.

C'est encore cette opposition entre le voir et le faire qui motive les propositions d'activités qu'avance P. Clément pour l'imagerie biomédicale et P. Vérillon pour le dessin technique. Il s'agit ici, en quelque sorte, de convertir le voir en faire, de **monnayer l'image en opérations**. Pour des raisons de procédés techniques dans un cas, et de procédés sémiotiques dans l'autre, ces types d'images comportent de multiples obstacles à leur utilisation. Permettre aux apprenants de se les approprier, c'est donc d'abord les amener à comprendre les opérations dont elles résultent. En leur faisant résumer, en simulation, ces opérations par lesquelles l'on passe de l'objet à son image, et réciproquement, l'on crée les conditions favorables à l'appropriation de l'image et de sa dimension opérative : du coup, l'image pourra s'insérer dans des logiques variées d'utilisation. Bref, il faut chercher du côté du faire les solutions aux difficultés qu'engendre le voir.

passer du voir
au faire

D'un article à l'autre, le **passage du voir au faire** s'opère selon différentes modalités. L'intégration des images dans un "dispositif de traitement" est le processus le plus général. La raison d'intégrer les images dans un système logiciel est de pouvoir les sélectionner, les relier, les calculer, les transformer, toutes procédures à disposition de l'utilisateur selon la nature des tâches à effectuer. « L'interface hypermédia, font remarquer A. Gay et Ph. Sabatier, permet surtout d'insérer les images au cœur d'un dispositif d'aide à la résolution de problèmes. » Le logiciel conçu par D. Beaufils et J.-C. Le Touzé est fait pour insérer les images dans des activités expérimentales de mesurage, d'analyse, de traitement graphique, de modélisation. Comme le rappellent J. Le Marec et M. Scrive, "Le jeu des Naturalistes" vise à permettre au visi-

teur d'avoir par rapport aux images quelques activités similaires à celles des savants d'autrefois. Enfin, la raison essentielle de mettre en ordinateur des schémas scientifiques, ainsi que le propose R. Lowe, réside en la possibilité offerte aux étudiants d'interagir avec l'image, de l'animer, d'en ajuster la "présentation" au problème posé.

refaire l'image

Ce passage du voir au faire est illustré d'une autre façon dans l'article de C. Gouanelle et P. Schneeberger : après le visionnement d'un film sur la vie intra-utérine, il est demandé aux élèves de ranger des images en une série reconstituant le "film" des événements, puis de schématiser chacune de ces vues pour réaliser une frise chronologique ; double reprise donc, qui permet aux élèves de "refaire l'image", d'en reconstituer la logique temporelle, de la reformuler à leur façon, de passer de l'image perçue à l'image produite. Dans le précédent numéro d'Aster, J.-Ch. Allain avait fourni, lui aussi, quelques exemples de ces reprises schématisantes par lesquelles les élèves s'approprient les images.

réintégrer
l'image dans
une logique
de l'activité

D'une façon générale, avec ou sans ordinateur, l'essentiel nous paraît être d'insérer les images dans des situations ("*situations-images*", disons-nous dans notre article) permettant de manipuler matériellement des représentations et, par ce biais, c'est-à-dire par leur "médiation", de manipuler symboliquement le réel. La signification de ces "activités d'imagerie" est de rendre explicites et de mettre à l'épreuve les représentations internes que nous nous formons de la "réalité", les correspondances et les connexions que nous y apercevons. Au lieu de parler de "situations-images" ou, plus généralement, de "dispositifs de représentation et de traitement" (à multiples composantes, pragmatique, verbale, imagée, numérique, déclarative, procédurale...), nous pourrions aussi utiliser, de manière équivalente, une expression de l'ingénierie didactique, celle d'"environnements d'apprentissage". Mais l'esprit des articles réunis en ce volume nous oblige à souligner ici ce qui semble bien être une évolution sensible de la problématique des images ; il ne suffit plus de se demander : qu'est-ce que les images nous permettent d'apprendre ? mais plutôt : **qu'est-ce que les images nous permettent de faire pour apprendre ?** Le passage par le faire, par l'activité du sujet, est le seul passage viable qui conduise du voir au savoir.

La plupart des auteurs, disions-nous d'entrée de jeu, insistent sur les difficultés de l'image. Risquons maintenant une hypothèse : **ce qui rend l'image "difficile", c'est la coupure de l'image d'avec l'activité qui lui donne son sens.**

Il y a à peu près une dizaine d'années paraissait le numéro 4 de notre revue, *Communiquer les sciences*, numéro qui introduisait un ensemble de réflexions sur les rapports entre images et sciences. Un an plus tard, le *Bulletin de Psychologie* consacrait un numéro spécial (XLI, 386) à *La communication par images*, numéro dans lequel la

didactique des sciences avait sa place. D'une logique de la communication à une logique de la connaissance, ce numéro 22 d'Aster consacré aux images pourrait servir, entre autres, à mesurer le chemin parcouru. Sans doute l'image a-t-elle un rôle à jouer sur le versant de la communication du savoir, mais n'a-t-elle pas un rôle plus essentiel encore à jouer du côté de sa construction ? Nous espérons que le lecteur trouvera dans les pages qui suivent quelques éléments qui l'autorisent à le penser.

Gérard MOTTET
Département "Technologies nouvelles
et éducation"
INRP

LES SITUATIONS-IMAGES

Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire

Gérard Mottet

Cet article pose le problème crucial des relations entre images et activités dans le cadre des apprentissages scientifiques : quelle est la valeur opérative des images ?

Nous appuyant sur un ensemble de travaux de recherche et d'expérimentations dans des classes primaires, nous proposons, dans une première partie, un inventaire ordonné des situations qu'il est possible d'organiser autour des images. Cette classification permet de caractériser les différentes modalités de travail auxquelles peuvent donner lieu les images comme supports d'apprentissage dans différents domaines conceptuels.

Nous nous interrogeons ensuite sur les possibilités spécifiques qu'offrent les images pour apprendre les sciences : quelles en sont les pertinences sur le plan des constructions notionnelles et opératoires ? Nous insistons ici tout particulièrement sur les démarches de pensée et les parcours de connaissance qu'elles autorisent. Nous soulignons en conclusion les activités de mise en relation qu'elles sollicitent, favorisant ainsi la recherche d'équivalences et d'articulations entre les phénomènes.

1. RELIER IMAGES ET ACTIVITÉS

Quand on s'interroge sur les rôles que les images sont susceptibles de jouer dans l'élaboration des connaissances scientifiques des élèves, on ne peut manquer de se poser la question : **quelles images ?** Mais l'on ne peut davantage se soustraire à cette autre question : **quelles activités ?** On voit mal, en effet, comment l'on pourrait attribuer aux images une quelconque "efficacité" dans les apprentissages en passant sous silence les conditions d'utilisation ou de production dans lesquelles elles interviennent, les contextes d'activité dans lesquels elles s'insèrent, les tâches, implicites ou explicites, auxquelles elles sont associées. Au terme d'une première phase exploratoire de recherche sur les "*fonctions de la visualisation dans les activités scientifiques à l'école élémentaire*", nous faisons observer que « les effets que l'on attribue aux images sont le plus souvent le résultat des activités que les élèves ont à développer par rapport aux images », et nous poursuivons : « Il importe donc de considérer non pas les seules images et leur valeur informative mais la "situation-image" complexe, s'inscrivant dans une progres-

sion d'apprentissage et comprenant indissociablement la tâche et les supports imagés, ce qu'il y a à voir et ce qu'il y a à faire. Quelles images pour quoi faire ? est la double question que l'on doit se poser, dans la perspective d'une construction active des savoirs scientifiques par les élèves. » (1)

Notre propos, dans cet article, n'est pas de caractériser les différentes sortes d'images susceptibles d'intervenir dans les différents domaines d'apprentissages scientifiques. Nous tenterons plutôt de caractériser les différents types d'activités fonctionnelles qu'il est possible de proposer à des élèves, dès lors qu'y interviennent toutes sortes d'images, à des titres divers. Le rapport entre images et apprentissages scientifiques ne s'établit sûrement pas dans le seul cadre scolaire. La vulgarisation scientifique — et tout particulièrement celle qui s'adresse à de jeunes publics — fait de plus en plus appel aux ressources de l'imagerie (2) : à la télévision certes mais aussi dans les expositions, dans les revues et dans les jeux informatiques. Sans perdre de vue ces apprentissages incidents de la vie quotidienne auxquels peuvent concourir les images, associées au langage et quelquefois à l'action, nous nous centrerons ici principalement sur les différentes situations que permettent de développer les images à l'école, dans le cadre d'apprentissages organisés.

Pour ce faire, nous nous référerons aux travaux de recherche que nous avons entrepris, dans le cadre de l'INRP, sur le thème *"Des images pour apprendre les sciences"*. Cette recherche porte sur l'ensemble des domaines scientifiques correspondant au cycle 3 de l'école élémentaire. Notre visée initiale pourrait se résumer ainsi : à quelles conditions les images peuvent-elles devenir partie intégrante des activités par lesquelles les élèves construisent des connaissances scientifiques ? Pour y répondre, il ne suffisait pas d'"introduire" des images dans des activités conventionnelles qui, par ailleurs, seraient restées "les mêmes". Notre question devenait donc : quelles nouvelles activités, ayant un sens du point de vue de la démarche scientifique des élèves, les images permettent-elles de concevoir ? (3) C'est ainsi qu'à

(1) Extrait du premier rapport intermédiaire de recherche INRP (janvier 1990), dans lequel se trouve proposée cette expression de *"situation-image"* ; voir, par exemple, "Représentations imagées et traitement des connaissances", in *Technologies nouvelles et éducation. Le point sur les recherches achevées à l'INRP en 1991 et 1992*, p. 59-68 (INRP, 1993).

(2) On peut, sur ce point, se référer aux travaux de D. Jacobi, surtout en ce qui concerne les rapports textes/images.

(3) Nous posons ici la question du renouvellement des activités scientifiques que le recours aux images est susceptible de favoriser. Cette question peut être abordée de différentes façons, selon le statut que l'on accorde aux images dans la construction des savoirs. Nous avons ici choisi, comme "entrée", de considérer les images du point de vue des activités spécifiques qu'elles rendent possibles.

de l'image,
source
d'informations...

... à l'image,
support
d'activités

pourquoi associer
des tâches aux
images ?

qu'apportent les
images ?

l'image "source d'informations", nous proposons de substituer l'image "support d'activités". Dans cette perspective, de nombreuses expérimentations ont été conduites dans les classes. Les ouvrages, parus ou en préparation, qui en sont issus (4), développent, dans différents champs disciplinaires, de multiples exemples de "situations-images" : c'est à partir d'un corpus d'environ deux cent cinquante exemples que nous tentons d'en dresser ici un premier inventaire raisonné (5).

Quel est l'intérêt d'associer des tâches aux images ? Sans doute pourrions-nous, pour répondre à cette question, afficher d'emblée un principe constructiviste en affirmant que l'on ne comprend bien que ce que l'on fait par soi-même... Ainsi, agir sur l'image ou à partir de l'image, la manipuler, la réorganiser, voire la refaire, permettrait d'en mieux saisir le sens. Mais plaçons-nous d'abord sur le plan de la recherche. Mettre l'élève en activité par rapport à des images était nécessaire d'un point de vue méthodologique : il s'agissait, en effet, pour nous, non pas seulement de recueillir, après coup, des effets d'apprentissage, attribuables aux images, mais d'observer, *on line*, comment les élèves fonctionnent avec des images et de quelle façon interviennent différentes variables, liées aux objets représentés, aux structures de représentation, aux conditions de l'activité, aux modalités de réponse demandées, aux connaissances antérieures des élèves, etc. Ce faisant, il devient possible non seulement de mieux comprendre le fonctionnement des élèves aux prises avec les images, dans différents domaines et à différents niveaux de connaissance, mais également de concevoir et d'expérimenter de nouveaux environnements d'apprentissage dans lesquels les représentations imagées et les traitements qui leur sont associés sont susceptibles de devenir pour les élèves de nouveaux instruments pour élaborer des connaissances, raisonner, résoudre des problèmes : perspective d'analyse cognitive, d'un côté, perspective d'ingénierie éducative, de l'autre. Telles sont, en quelque sorte, les deux faces de nos "situations-images", considérées dans une visée de recherche.

Mais les situations-images représentent à l'évidence, aussi, un enjeu éducatif : associer des tâches aux images peut être

-
- (4) Citons, dans l'ordre, les ouvrages auxquels nous nous référons : 1. *De la vulgarisation aux activités scientifiques* ; 2. *Volcans et tremblements de terre* ; 3. *Images et construction de l'espace* ; 4. *Images, systèmes, modèles* ; 5. *Images du ciel* ; 6. *Images et apprentissages technologiques*.
- (5) La classification que nous proposons dans cet article est issue de l'analyse de situations réellement mises en œuvre dans des classes primaires. À ce titre, elle est provisoire et ne prétend pas couvrir toutes les situations possibles, notamment celles que l'on peut proposer au niveau du collège et du lycée. Il faut donc concevoir cette classification comme un outil de travail, dont l'intérêt premier est de permettre de caractériser plus finement les différents registres d'activités cognitives liées aux images.

... des données...

... des structures
de représentation...

... des modes
de traitement

avancé comme un principe d'action pédagogique, dès lors que l'on vise à réunir les conditions permettant aux élèves de s'appropriier les images et de s'en servir comme instruments de connaissance. Ce que les images apportent de nouveau dans une situation d'apprentissage scientifique, ce ne sont pas seulement des données relatives à un objet ou phénomène, ce sont des structures de représentation de ces données, c'est-à-dire des instruments pour les penser sur d'autres modes que ceux que la seule perception autorise ; si les images n'équivalent pas à des énoncés verbaux, elles ne reproduisent pas non plus les conditions de la perception directe des choses. Ce qu'apportent aussi les images, ce sont des modes de traitement, d'analyse et de calcul, que leurs structures de représentation rendent possibles. La pluralité des représentations imagées est un moyen de soumettre la réalité à une pluralité de traitements possibles. Ainsi, les images sont-elles des "actions possibles" sur le réel : elles le rendent manipulable. Reste précisément à le manipuler, et pas seulement en pensée : d'où l'intérêt d'agir sur les images, de les questionner, de les travailler, de ne pas seulement y voir des substitutions symboliques qui nous aident à percevoir, mais aussi et surtout, des **médiation**s opératoires, des instruments pour agir symboliquement sur le monde, le mettre en représentation de multiples manières, le simuler et ainsi le rendre pensable. Bref, les images ne sont pas d'emblée des instruments de connaissance, elles ne le deviennent qu'à proportion des activités qu'il est possible de développer à leur égard.

2. LA NOTION DE SITUATION-IMAGE

Les situations proposées aux élèves dans le cadre de nos expérimentations font appel à différents types d'images. Elles reposent également sur différents types d'activités, selon les consignes et les supports de la tâche, selon la place même qu'y ont les images : tantôt vues sur des réalités, à comprendre ou à comparer, tantôt supports de manipulation et de réorganisation, tantôt expressions graphiques d'un contenu de pensée. Ce n'est pas par la nature des images que nous distinguons les différentes sortes de situations dans lesquelles elles interviennent, mais par la nature des activités demandées aux élèves, c'est-à-dire par les **tâches** qui leur sont proposées et par rapport auxquelles les images constituent soit des données initiales soit des produits de l'activité, soit les deux (6). Une tâche peut se définir

(6) Les images, avons-nous dit, sont des "actions possibles" sur le réel. Par les propriétés matérielles de leur support autant que par l'organisation sémiotique qui les caractérise, elles ouvrent à l'activité du sujet un "champ opératoire" virtuel. Définir une tâche relative à des images, c'est donc choisir parmi un éventail d'actions possibles ; n'importe quelle image n'autorise pas n'importe quelle activité.

comme "ce qui est à faire", c'est-à-dire comme l'ensemble des opérations que l'élève doit appliquer à des "données", librement ou conformément à des règles, en vue de produire un résultat, qui s'exprime dans les formes prévues par la consigne (7). Dans la réalité, il arrive assez souvent qu'une situation-image comporte plusieurs tâches simultanées ou enchaînées : ainsi, ordonner des photographies, les commenter et convertir la séquence réalisée en une succession de schémas, comporte au moins trois tâches différentes, et, bien entendu, un plus grand nombre encore d'opérations élémentaires, si l'on procède à des analyses de tâche. Nous nous limiterons ici à caractériser les situations-images par la tâche principale qu'elles impliquent.

des images
aux activités
d'imagerie

Nous appelons donc **situations-images** toutes ces situations où l'activité de l'élève s'articule à l'image, où les images, quand elles sont fournies, ne sont pas seulement à regarder, mais impliquent des conduites et des productions observables, que ce soit sur le mode verbal, graphique ou même pratique.

L'utilisation des images dans l'enseignement a fait, comme on le sait, l'objet de virulentes critiques, sous le prétexte de la "passivité" qu'elles engendreraient. On se souvient, par exemple, de la critique de J. Piaget : *• En bref, l'image, le film, les procédés audio-visuels dont toute pédagogie voulant se donner l'illusion d'être moderne nous rebat aujourd'hui les oreilles, sont des auxiliaires précieux à titre d'adjuvants ou de béquilles spirituelles, et il est évident qu'ils sont en net progrès par rapport à un enseignement purement verbal. Mais il existe un verbalisme de l'image comme un verbalisme du mot... »* (8)... et de souligner "**le primat irréductible de l'activité**". Or, la notion de "situation-image" que nous présentons ici, propose précisément de réconcilier "image" et "activité". Elle comporte trois idées essentielles : la première est de considérer que l'activité du sujet peut être étendue aux images ; la seconde est de considérer qu'une image ne se lit pas de la même façon selon le contexte d'activité dans lequel elle se situe ; la troisième est de considérer que l'activité relative aux images n'est pas complète tant qu'elle ne débouche pas sur une expression ou une action matérielle qui l'objective et la manifeste.

le lien entre
image et activité
ne semble pas
aller de soi

Autrement dit, il ne suffit pas qu'une activité soit proposée relativement à des images, encore faut-il qu'elle débouche,

- (7) Il faut bien distinguer *la tâche*, qui est l'action prescrite, et *l'activité*, qui est l'action effectivement mise en œuvre. Le terme d'activité peut aussi désigner la tâche, mais on précise alors : "activité proposée" ou "activité demandée" à l'élève. Par ailleurs, la tâche comporte elle-même des sous-tâches, qu'on peut appeler des "activités requises" ou "activités impliquées" par la tâche : par exemple, la compréhension d'une image est une activité requise pour associer à cette image un énoncé ou pour l'insérer dans une séquence.
- (8) Cf. J. Piaget, "Éducation et instruction", 1965, (in *Psychologie et pédagogie*, p. 110, Denoël, 1969).

tôt ou tard, sur une "sortie observable", une réponse manifeste, quelle qu'en soit la forme, et au travers de laquelle il est possible d'interpréter quelque chose de cette confrontation de l'élève à l'image. Ce peut être, bien sûr, lors de situations-images ultérieures. L'observabilité de la réponse n'est pas seulement une règle d'ordre méthodologique, elle nous paraît être une propriété fonctionnelle attachée aux situations-images, dès lors qu'elle rend possible une régulation de l'action de l'élève. La question de savoir ce que l'élève apprend au travers d'une activité d'imagerie et ce qu'il peut en transférer dans d'autres activités est une question essentielle pour l'enseignement.

L'activité relative aux images peut revêtir trois formes possibles, selon qu'il s'agit pour l'élève :

- de lire des images (**L**),
- de les modifier (**M**),
- ou d'en produire (**P**).

trois types
d'activités
relatives aux
images

Dans le premier cas, des images inscrites sur des supports sont au point de départ de l'activité (**I** →), mais les réponses, par lesquelles l'élève témoigne de sa compréhension, sont attendues sur d'autres registres que l'expression imagée. Dans le second cas, en revanche, l'élève est invité à répondre à l'image par l'image (**I** → **I**) : toute une gamme de situations consiste à appliquer des opérations à un matériau imagé pour le transformer dans le sens fixé par la consigne. Enfin, les situations de production d'images prennent comme points de départ autre chose que des images à observer, le plus souvent des représentations mentales ; elles aboutissent à des expressions graphiques (**I** → **I**) qu'on peut analyser en fonction des notions et opérations de pensée qu'elles recouvrent.

Une erreur assez fréquente consiste à considérer les situations, dans lesquelles les images sont des données de la tâche, comme des situations d'apprentissage, tandis que les situations d'expression graphique seraient des situations d'évaluation, servant surtout à faire émerger les conceptions des élèves. Cette erreur provient de ce que, dans le premier cas, on voit principalement les images comme des sources d'informations que l'activité de l'élève se bornerait à enregistrer, et de ce que, par ailleurs, là où il y a activité de l'élève aboutissant à une production, on ne voit dans l'image produite que le "reflet" d'un contenu de pensée et non pas ce qui justement structure en retour la pensée. À vrai dire, toutes ces situations, de lecture, modification ou réalisation d'images, peuvent être considérées comme des situations d'évaluation dans la mesure où l'activité de l'élève donne lieu à des conduites et des productions observables (pour peu que l'on dispose, bien entendu, d'une méthodologie d'analyse de ces manifestations). Elles peuvent toutes, également, être considérées comme des situations d'apprentissage, à différents degrés, en fonction précisément du degré de nouveauté qu'elles présentent pour l'élève, du point de

apprendre
par l'activité
que l'image
rend possible

vue des connaissances en jeu, des types d'images à comprendre ou à produire, des types d'activités requises, des contraintes à respecter.

Apprendre par l'image ne veut pas dire seulement : prendre l'information que contient l'image, mais aussi, et plus essentiellement : apprendre par l'activité que l'image rend possible, activité de "mise en forme" du monde par le jeu d'une représentation imagée (entendons : le "jeu" que permet justement la représentation). Apprendre par l'image, dans quelque situation que ce soit, c'est mettre en fonctionnement — et, ce faisant, s'approprier — les outils d'organisation et de traitement du réel dont l'image est porteuse, c'est réassumer ce que nous appellerions volontiers la "valeur opérative" de l'image. De ce point de vue, proposer une situation-image revient à placer les élèves "en situation d'apprendre par l'image", c'est-à-dire de faire ou de refaire, par la médiation de l'image, le travail de manipulation et de construction du réel que la représentation imagée rend possible.

3. L'IMAGE AU TRAVAIL

quels sont les
paramètres
d'une situation-
image ?

Au départ d'une situation-image, figurent les "**données de la tâche**", c'est-à-dire ce à quoi s'applique l'activité de l'élève compte tenu de ce que prescrit la consigne. Dans les situations où les images sont à lire ou à modifier, elles ne sont pas nécessairement les seules données proposées : informations verbales, en rapport ou non avec les images, tableau de données comportant ou non des valeurs numériques, objets et phénomènes réels ou artificiels, qu'ils soient seulement à observer ou qu'ils puissent être manipulés, sont autant de données diverses pouvant accompagner les images et constituer des supports "multi-modaux" d'activité dont les éléments peuvent soit constituer des ensembles organisés d'informations, soit être présentés à l'élève comme devant justement faire l'objet de mises en relation. À ces données, il convient d'ajouter toutes les informations qui ne sont pas fournies à l'élève mais que celui-ci doit tirer de sa propre mémoire, souvenirs récents ou connaissances à plus long terme : ces "sources" sont souvent même les seules dont dispose l'élève quand il lui est demandé de dessiner comment il "voit" un phénomène, comment, par exemple, il se représente ce que deviennent les aliments dans le corps, ou ce qui, dans les profondeurs de la Terre, peut expliquer les séismes.

à partir de
quoi l'élève
travaille-t-il ?

Au même titre qu'un texte, les données-images sont des **constructions symboliques** ; à ce titre, elles ne sont pas des données mais des produits matériels résultant d'une élaboration représentative. Encore faut-il justement que l'élève, partant des données visuelles qui lui sont fournies, refasse pour son propre compte cette élaboration grâce à

bien que
données,
les images sont
à construire

laquelle les données acquièrent pour lui valeur de représentation : il n'y a pas d'image en soi ; qu'il s'agisse d'un dessin figuratif, d'une échographie ou d'une carte climatique, ces perceptions visuelles de traits, de formes et de nuances ne prennent valeur d'images que par le travail d'une "conscience représentative" qui mobilise toute une connaissance du monde, et pas seulement des règles de codage. Bref, qu'on nous entende bien, même dans le cas d'images proches d'une perception familière, ce qui est donné à l'élève n'est pas, à proprement parler, l'image, mais un matériel perceptif à partir duquel il lui est possible de la construire. D'un certain point de vue, le travail sur l'image, que la tâche prescrit, tout à la fois présuppose cette construction représentative et permet de l'accomplir : une image n'est jamais que le résultat d'une actualisation.

les images
héritent des
fonctionnalités
de leurs supports

Les images dont il est ici question sont inscrites sur des mémoires externes : elles ont donc les propriétés fonctionnelles de leurs **supports**. Images imprimées, images projetées, images interactives n'ont pas les mêmes propriétés d'accessibilité et de manipulabilité. Ces caractéristiques techniques des images sont essentielles, car il ne s'agit pas seulement de modalités de présentation, mais de possibilités d'action (9). Les technologies informatiques permettent, entre autres, de produire, à la demande, des images virtuelles, images que l'élève peut rendre présentes en fonction des nécessités de la tâche, passant ainsi d'une image fixe à une animation, d'une échelle à une autre, d'un plan à un volume, d'un angle de vue à un autre. On voit bien, alors, selon les outils dont on dispose, qu'il devient possible d'intervenir à "différents niveaux de profondeur" de l'image : en modifier la surface signifiante, en modifier le "point de vue" qu'elle donne sur une réalité, jusqu'à modifier les paramètres du modèle de réalité dont l'image n'est qu'une visualisation... À quel niveau de réalité agit-on quand on agit sur une image ?

Outre les propriétés que les images tiennent de leurs supports, une autre dimension de leur fonctionnalité réside dans les possibilités qu'elles offrent de **mettre en relation différents aspects de la réalité**. Les images sont comme des fenêtres simples ou multiples ouvertes sur les choses : ainsi pourrait-on parler du mode de "*fenêtrage*" que les images proposent, permettant, à des degrés variables, de relier entre elles différentes informations. Les exemples de situations-images, que nous avons rassemblés, nous amènent à distinguer quatre modes d'affichage du réel.

- Mode "*unifocal*" : les images, même multiples, ne sont pas à relier entre elles ; elles se complètent les unes les autres, s'éclairent les unes par les autres, mais n'ont, dans la logique de la tâche, aucune visée comparative.

(9) Cette question est développée dans *Volcans et tremblements de terre* (INRP, 1995), Chap. 2, p. 57-60 : "Actions sur les images".

les plages
visuelles se
présentent de
multiples façons

- Mode "*multi-objet*" : il s'agit de vues dont la fonction est de permettre la comparaison entre différentes réalités ou différents moments d'un processus ou différents états d'un système ; la comparaison peut s'opérer par le biais de plusieurs vues, elle peut porter sur des éléments différents assemblés en une même vue.

- Mode "*multi-vision*" : il ne s'agit plus ici de mettre en relation des objets différents mais de coordonner des regards différents sur une même réalité ; nous appelons ces images des "corrélations interfigurales" (10) : leur fonction est de faire appréhender les choses sous des angles différents, à des échelles différentes, à des niveaux différents d'abstraction, ou encore sur des registres d'expression différents.

- Mode "*mosaïque*" : les images sont présentées sous forme de "fragments" dissociés, d'éléments dont la mise en relation peut avoir pour sens d'opérer des classifications, sériations, hiérarchisations, mises en séquence, mises en espace, mises en système...

Quand des images figurent parmi les données initiales d'une tâche, les informations qu'elles contiennent n'ont pas nécessairement, d'une tâche à l'autre, la même fonction par rapport à l'activité de traitement qu'il est demandé à l'élève de déployer. Les situations-images peuvent, en effet, différer entre elles selon le **mode de lecture** auquel sont soumises les images proposées, compte tenu de la question posée. Ainsi, la tâche peut imposer de lire l'image selon trois modes différents.

- Mode "*analyse*" : l'image contient en elle-même les informations nécessaires ; il est donc surtout demandé à l'élève d'accomplir sur l'image un travail d'observation et de recueil de données.

- Mode "*raisonnement*" : la tâche impose de développer la pensée bien au-delà de ce que contient l'image et de recourir à d'autres connaissances, par exemple expliquer un état de fait que montre l'image, compléter une image délibérément incomplète ou anticiper la position respective de deux éléments suite au mouvement d'un mécanisme.

- Mode "*évaluation*" : les caractéristiques de l'image, ce qu'elle représente ou la façon de le représenter, sont à rapporter à des valeurs de référence, d'ordre théorique ou pratique ; il est demandé à l'élève, en fonction d'un ou de plusieurs critères, de porter un jugement sur les images qui lui sont présentées, ou encore d'en trouver qui correspondent à ces critères.

Prise d'informations, mise en jeu de modèles mentaux, recherche d'indices de validation : on voit que le travail sur les images, quel que soit le niveau de réalité auquel on se situe, peut correspondre à différents "moments" d'une démarche scientifique. Ne serait-ce que par l'activité qu'elles rendent possible, les images occupent différentes places

les tâches
imposent des
saisies différentes
de l'image

(10) Cet aspect est particulièrement développé dans notre 3e volume : *Images et construction de l'espace* (INRP, à paraître).

dans le va-et-vient de la pensée et du réel, elles participent de multiples façons au dialogue de la théorie et de l'expérience.

Ces activités d'analyse, de raisonnement et d'évaluation peuvent s'appliquer à toutes sortes d'images, quel que soit le niveau de traitement du réel dont ces images résultent, qu'elles donnent à voir des apparences figuratives, qu'elles traduisent une vision structurée et savante des choses, ou encore qu'elles proposent des fictions ou simulations calculées de phénomènes. On peut analyser aussi bien des modèles graphiques, des plans urbains, des radiographies, des coupes géologiques que des documentaires animaliers. Par le jeu des codes et langages qui les constituent, les images transfèrent, dans le registre de la perception visuelle, des "objets" qui peuvent être invisibles, abstraits, imaginaires : elles donnent ainsi à penser le réel à différents niveaux de traitement, ce qui engage l'élève dans de multiples activités "épistémiques", qui ne sont pas précisément prescrites par la tâche mais justement imposées par la nature même des images, c'est-à-dire par le travail de construction du réel qu'elles impliquent. Ce "**travail de l'image**" (11) est à refaire mentalement par celui qui s'efforce de comprendre l'image, il est postulé sans faire l'objet d'aucune prescription ; il n'est pas de consigne qui dise : "comprends l'image". C'est en général par le biais des activités sur l'image que l'on espère favoriser chez l'élève la compréhension de l'image. Par contre, ce travail de l'image fait bien l'objet d'une prescription quand la tâche consiste justement à faire l'image, quand l'image est le produit même de l'activité de l'élève. On peut alors distinguer différentes situations de production d'images selon le niveau d'élaboration épistémique — et non pas seulement sémiotique — que l'expression graphique requiert de la part de l'élève (12). Ainsi, à l'instar des modes de lecture, que nous avons précédemment distingués quand les images sont fournies à l'élève, pourrait-on distinguer des modes de production quand les images sont à faire : mais sans doute faudrait-il parler de "modes de production de la réalité" (13) car il s'agit

les images imposent des niveaux différents de traitement du réel

en mode production, ces niveaux d'image sont fixés par la tâche

(11) C'est l'expression que nous avons proposée (cf. *Le travail de l'image : figures, schémas, modèles*, 1989, document interne INRP) pour désigner l'ensemble des "opérations" symboliques dont l'image résulte : il ne s'agit pas seulement d'opérations de codage, mais de la construction d'une représentation cognitive du réel, dont l'image graphique est la matérialisation.

(12) Nous voulons dire par là que le codage graphique est l'expression d'un acte de connaissance. Dans la conclusion de leur ouvrage sur *L'image mentale chez l'enfant* (PUF, 1966), J. Piaget et B. Inhelder soulignent très justement que les images sont des signifiants qui n'ont pas pour signifiés des objets mais des opérations sur les objets.

(13) En produisant une image, l'élève construit symboliquement une réalité. Le problème n'est pas ici de savoir si la représentation graphique ne fait qu'extérioriser une vision mentale qui lui préexistait, ni de savoir si cette réalité correspond à des perceptions possibles dans le monde.

là des niveaux de construction mentale du réel dont les images, en tant qu'intermédiaires symboliques, sont à la fois le témoignage et le support. Même si l'élève (loin s'en faut) ne dispose pas d'outils analogues à ceux qui interviennent dans la production des images qui lui sont fournies, il est possible de caractériser les niveaux de traitement cognitif qu'impliquent les tâches d'expression imagée, selon, par exemple, qu'il s'agit de restituer des détails figuratifs, d'élaborer une représentation schématisée ou encore de proposer une modélisation systémique visualisant des inter-relations.

Enfin, il nous faut mentionner, au titre des principaux paramètres d'une situation-image, les **modalités de réponse** telles que les fixe la consigne. Une réponse est l'expression ou la manifestation du résultat produit par l'élève. Dans les cas où les activités de l'élève et les conclusions auxquelles elles aboutissent ne sont pas observables, il est demandé à l'élève de les extérioriser sur un mode approprié : c'est ainsi que les compréhensions d'images et les raisonnements qui les accompagnent sont le plus souvent traduits sur le plan verbal ; on voit quelle peut être pour de jeunes élèves la difficulté de passer du voir au dire, d'une perception d'image à une mise en langage. Dans le cadre des situations-images, les réponses demandées à l'élève peuvent revêtir trois formes principales.

- Mode "*symbolique*" : les réponses s'expriment sur le mode verbal ou sur le mode graphique ; les réponses sur le mode graphique caractérisent précisément les situations de production d'images (P) ou celles de modification (M) quand justement ces expressions graphiques s'articulent à des images initiales.

- Mode "*structural*" : il est demandé à l'élève d'organiser les données, de mettre de l'ordre dans les matériaux qui lui sont fournis ; selon la nature des liens à établir entre les éléments, on peut distinguer un mode d'organisation de type logique, par exemple quand il s'agit de mettre en correspondance ou d'apparier les éléments, et un mode d'organisation de type figural, quand il s'agit d'assembler les éléments de manière à former une configuration d'ensemble à caractère imagé ; composer à partir d'éléments figuraux un nouvel ensemble figural est une situation que nous rangeons parmi les situations de modification d'images.

- Mode "*pratique*" : les réponses demandées à l'élève peuvent être des conduites pratiques à déployer dans la réalité : il s'agit alors d'utiliser des images soit pour voir, soit pour faire, soit pour des activités d'identification, d'observation ou de repérage, soit pour des activités d'effectuation, de manipulation ou de fabrication ; ainsi, repérer dans le ciel une constellation ou utiliser un schéma de montage.

La tâche peut exiger de l'élève que les réponses soient fournies dans un certain "format" et respectent certaines contraintes d'expression. Ces éléments qui calibrent et cadrent la réponse sont importants en ce qu'ils sont des éléments structurants de l'activité. Ce peut être, pour des

les réponses
des élèves sont
le résultat
observable de
leur activité

... trois formes
principales de
réponse...

... le format de la réponse structure l'activité

expressions graphiques, divers paramètres comme échelle de représentation ou couleurs. Ce peut être des règles de codage, soit explicitées par une légende, soit véhiculées par les termes mêmes qu'on utilise pour désigner des types d'images : "faites un plan, une coupe, un schéma explicatif, une frise...". Ce peut être, enfin, un cadre, un tableau à remplir, une silhouette qui délimite l'espace d'expression, l'équivalent d'un formulaire de réponse. Dans la plupart des situations de modification d'images, il importe de voir que les images fournies à l'élève constituent à la fois un ensemble de données à traiter mais aussi un ensemble d'"instructions figurales" servant à orienter et à guider le traitement des données : l'image induit un traitement analogique de l'information (14).

4. VINGT-ET-UN TYPES DE SITUATIONS-IMAGES

une classification des situations...

Nous appuyant sur les exemples développés dans le cadre de nos expérimentations (15), nous proposons de distinguer vingt-et-un types de situations-images, réparties également dans les trois principales rubriques de lecture, modification et production. Rappelons que les situations sont caractérisées essentiellement du point de vue de l'activité relative à l'image qu'elles engagent de la part de l'élève (16) : on peut donc considérer ces situations comme autant de réponses différentes à la question : des images pour quoi faire ? Considérons cet inventaire "opératoire" comme une première approche des rôles que les images sont susceptibles de jouer, pour des élèves de l'école élémentaire, dans les démarches de construction des savoirs scientifiques.

... du point de vue des activités d'imagerie qu'elles impliquent

-
- (14) Nous entendons ici "traitement analogique" au sens où l'emploie J. Lautrey (1987) par opposition à "traitement analytique" ou "propositionnel". Cf. infra la note 40.
- (15) Les situations-images qui nous ont servi à élaborer cette typologie (ainsi que les activités d'élèves auxquelles elles ont donné lieu) sont développées et analysées dans les ouvrages cités précédemment, en note 4. Faute de place, nous ne pouvons ici qu'énumérer, sans plus, les différentes catégories de situations. Pour plus d'informations, on pourra se reporter au document *Une typologie des situations-images* (document interne, INRP, 1996) qui explicite, pour chacune de ces situations, les logiques d'activité qui les caractérisent et en donne des exemples significatifs.
- (16) Dans la suite du texte, nous emploierons aussi l'expression "*activités d'imagerie*", quand nous voudrions insister sur les opérations mentales qui sous-tendent ces activités relatives à l'image.

Lecture

Sont regroupées sous le chapitre des "situations de lecture d'images" toutes les situations dans lesquelles le matériel imagé fourni aux élèves ne fait l'objet d'aucune manipulation matérielle qui viserait à le modifier ou à le réorganiser pour former de nouvelles images. Selon la nature des tâches et des supports, les sources d'information que constituent les images peuvent être soit directement accessibles à l'observation pendant toute la durée de l'activité, soit consultées au choix, soit avoir été préalablement mémorisées. Une dimension importante qui caractérise nombre de ces situations est la présentation d'une pluralité de données entre lesquelles il est demandé à l'élève d'établir des relations, ces données pouvant appartenir à des registres sémiotiques différents. Les réponses peuvent prendre des formes diverses : expressions verbales, orales ou écrites ; appariement de données ayant un champ sémantique commun ; liens entre images ou entre images et textes ; actions pratiques visant à donner forme au réel pour le lire ou le transformer.

Modification

Sous le chapitre des "situations de modification d'images" sont rassemblées toutes les situations dans lesquelles les données initiales comportent des images qu'il est demandé aux élèves de retoucher, de transformer, de réorganiser. Ce type d'activité, nécessitant lecture et manipulation des données, implique une présence matérielle des images ; si l'activité graphique s'exerce à partir d'images mémorisées, il faut alors la considérer comme une activité de production graphique à part entière. À la différence des situations de simple lecture, dont les modalités de réponse sont le plus souvent verbales, quelquefois pratiques, ces situations de modification débouchent sur de nouvelles images qui témoignent de l'activité mentale des élèves. Les processus de transformation que la tâche sollicite pour passer d'une image ou d'un ensemble d'éléments imagés à une image finale peuvent être plus ou moins importants ; ils peuvent nécessiter un transfert d'un support à un autre et faire alors, éventuellement, intervenir des marquages et des cadres structurants nouveaux dont le but est d'aider ou de contraindre l'expression graphique de l'élève.

Production

Les "situations de production d'images" sont des situations d'expression dans lesquelles les images sont principalement pour les élèves l'occasion de traduire et d'explicitier une représentation mentale. Les contraintes de la mise en forme graphique, les règles de codage et de construction de l'image permettent en retour de donner forme à des contenus de pensée, de leur fournir un format organisateur. La production graphique peut avoir comme source un texte ou une réalité observée ou des souvenirs d'images, elle traduit toujours une construction mentale, à divers niveaux d'élaboration. Quand elle s'inspire d'images, celles-ci ou bien ne sont plus présentes à l'observation au moment de l'activité ou bien n'ont qu'un rôle d'aide pour guider l'expression, sans en être elles-mêmes l'objet. Par ailleurs, comme dans les situations de modification, des "cadres figuraux" peuvent être fournis pour baliser l'expression graphique, pour lui assigner un "espace de jeu" : il s'agit le plus souvent d'un contour, plus ou moins précis, permettant de rapporter l'expression à un espace de référence, de lui fournir des points de repères.

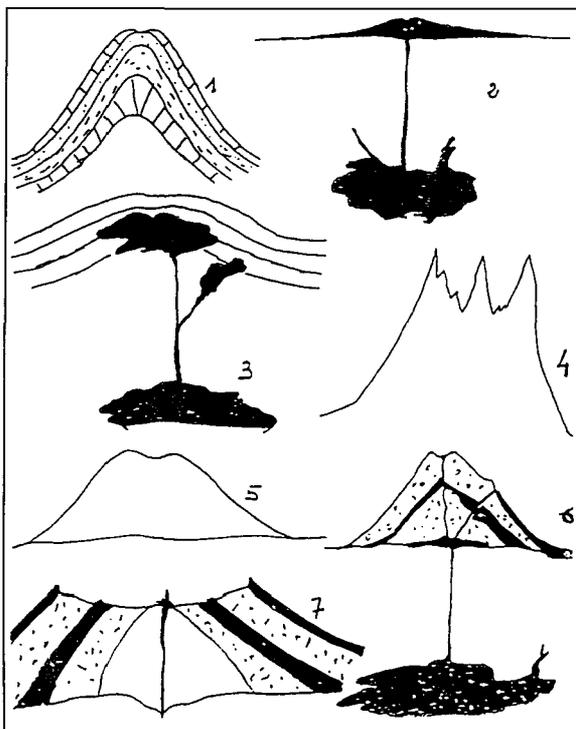
Tableau récapitulatif des situations-images

LECTURE	
Analyse d'images :	rechercher dans l'image les informations nécessaires à la compréhension du réel qu'elle représente et en retraduire verbalement le sens.
Raisonnement à partir d'images :	prendre l'image comme point de départ d'un travail de la pensée ; réfléchir, s'interroger, commenter...
Évaluation d'images :	évaluer les images en fonction d'un ou de plusieurs critères ; les sélectionner, classer ou sérier en conséquence.
Comparaison multi-objet :	images permettant de comparer différentes réalités ou différents "moments" d'une réalité et d'élaborer des synthèses.
Coordination multi-vision :	différentes vues offrant des "regards" différents sur une même réalité, qu'il s'agit de coordonner : ce sont des "corrélations interfigurales".
Mise en correspondance de données :	relier en fonction d'un critère logique différentes données ou séries de données, fournies séparément.
Consultation d'images en vue d'usages pratiques :	se servir d'images de référence pour reconnaître ou manipuler des objets dans le réel.
MODIFICATION	
Analyse graphique :	analyse d'images avec réponse graphique structurant l'image initiale pour en distinguer les "parties" essentielles.
Développement graphique :	l'image initiale sert de point de départ à une extension graphique : compléter, insérer, enrichir, expliciter...
Correction graphique :	les retouches graphiques sont le résultat d'une évaluation de l'image ou de ce qu'elle représente.
Synthèse graphique :	l'image produite est le résultat d'un traitement d'informations parcellaires issues d'un corpus d'images, voire d'autres données.
Conversion figurale :	reformuler les informations extraites d'images en changeant la structure de représentation des données.
Organisation figurale :	à partir d'éléments donnés en vrac, effectuer un assemblage qui les relie en une configuration d'ensemble faisant image.
Simulation interactive :	images simulant les modifications apparentes qui résultent de la manipulation active d'un modèle, matériel ou logiciel.
PRODUCTION	
Traduction graphique :	mettre en image un énoncé ou une suite d'énoncés pour en donner un équivalent figuratif.
Description graphique :	mettre une réalité en images pour garder la trace d'une observation et pouvoir l'utiliser ultérieurement.
Rappel graphique :	restituer par l'image une observation antérieure soit du réel soit d'une représentation.
Projection graphique :	donner une expression graphique d'un contenu de pensée ; extérioriser par l'image des représentations mentales.
Schématisation graphique :	représenter ce qu'ont en commun différents objets ou événements particuliers de façon à généraliser, à ne conserver que l'essentiel.
Modélisation graphique :	produire un schéma d'ensemble explicitant des inter-relations, un substitut du réel servant à raisonner, à expliquer, à prévoir.
Conception graphique :	par l'image rechercher différentes solutions possibles à un problème, concevoir des objets nouveaux, dessiner des réalités virtuelles...

QUELQUES EXEMPLES DE SITUATIONS-IMAGES

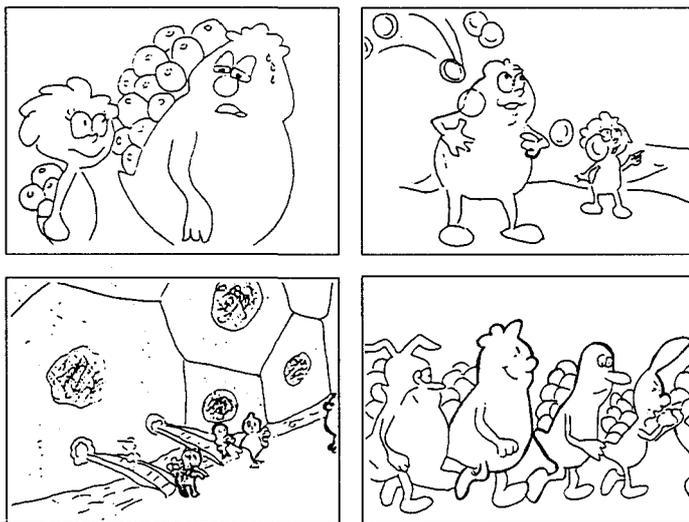
ÉVALUATION D'IMAGES

Parmi plusieurs schémas, repérer ceux qui représentent un volcan et ceux dont on peut être certain qu'il ne s'agit pas de volcan ?



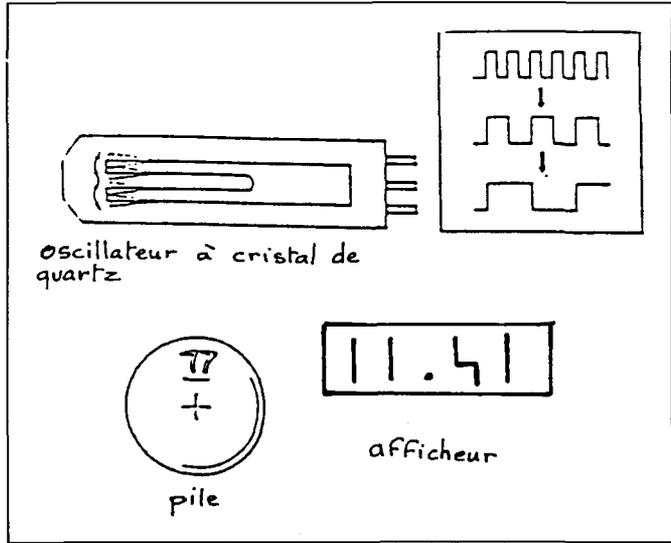
CONVERSION FIGURALE

Représenter par un schéma cyclique un processus (le trajet des gaz respiratoires dans le sang) précédemment reconstitué sous la forme d'une série de vignettes (extraites du dessin animé "Il était une fois... la vie").



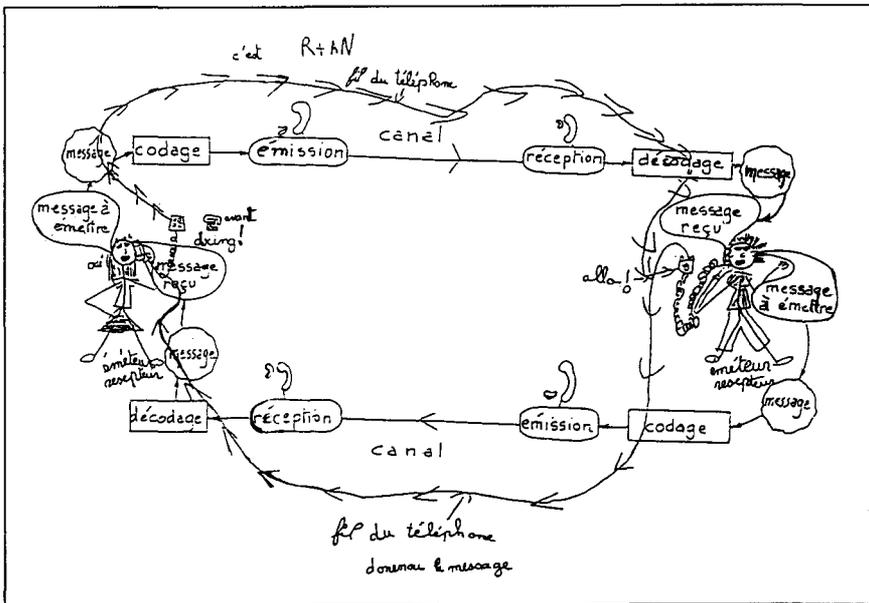
ORGANISATION FIGURALE

À l'aide de vignettes et de flèches, expliquer en les assemblant le fonctionnement d'une montre à quartz.



SCHÉMATISATION GRAPHIQUE

En s'aidant d'un schéma général préalablement réalisé, schématiser une nouvelle situation concrète de communication dans laquelle ont été utilisés des talkies-walkies.



La production d'un groupe d'élèves

EXEMPLE D'UTILISATION DE LA CLASSIFICATION :
UN ENSEMBLE DE SITUATIONS-IMAGES SUR LA REPRODUCTION HUMAINE
 (d'après l'article de C. Gouanelle et de P. Schneeberger, p. 57 dans ce numéro)

Tâche	Libellé	Type de situation
A₁	Décrire ce qu'on voit sur une photographie de fécondation (microscope à balayage) en s'aidant éventuellement d'un schéma correspondant et de formules verbales définissant ce qu'est un œuf.	Analyse d'images
A₂	À partir des mêmes données, répondre à des questions mobilisant des connaissances.	Raisonnement à partir d'images
B₁	Rechercher dans un film documentaire sur la vie intra-utérine (<i>Neuf mois pour naître</i>) des réponses à des questions préalablement formulées.	Analyse d'images
B₂	Après le visionnement du film, faire des dessins pour expliquer la formation de l'œuf et son devenir.	Rappel graphique
C	En reVISIONnant le même film et en s'aidant d'arrêts sur images, caractériser plus précisément les étapes de la fécondation et du développement embryonnaire.	Analyse d'images
D₁	Identifier sur des photographies de fécondation et de développement embryonnaire les phénomènes qu'elles représentent.	Analyse d'images
D₂	Ranger ces photographies de manière à replacer les phénomènes représentés dans leur chronologie.	Organisation figurale
D₃	Comparer l'une de ces photographies avec son "schéma" correspondant pour comprendre ce qu'est schématiser.	Coordination multi-vision
D₄	Schématiser chacune des photographies de la séquence précédemment construite de manière à réaliser une frise chronologique.	Analyse graphique
E	Exprimer sous forme de dessins légendés ses connaissances sur la fécondation et le devenir de l'œuf.	Projection graphique
F₁	Identifier le processus que montre une séquence ordonnée de trois photographies (divisions d'un œuf vues au microscope).	Analyse d'images
F₂	Dessiner les schémas correspondant à ces photographies et les légender.	Analyse graphique
F₃	Reconnaître l'étape de la reproduction correspondant à ces photographies et la situer par rapport aux étapes antérieures et postérieures.	Raisonnement à partir d'images

N.B. Les tâches (A à F) correspondent au découpage proposé dans l'article cité ci-dessus, elles sont ici subdivisées en moments indiqués par des numéros (A1, A2...).

5. DE QUELQUES ENJEUX COGNITIFS DES SITUATIONS-IMAGES

caractériser la
tâche pour
comprendre
l'activité

Les situations-images dont nous venons de présenter les principes sont des propositions d'activités, que nous avons ordonnées principalement en fonction de la place qu'y occupent les images. L'analyse des tâches qu'elles impliquent permet d'esquisser un cadre d'interprétation des conduites réelles, matérielles aussi bien que mentales, que les élèves sont susceptibles d'y déployer (17). Formaliser les situations qu'il est possible de construire autour des images nous paraît essentiel, ne serait-ce que pour repérer les logiques d'activités qu'elles sous-tendent ; il n'en demeure pas moins indispensable, si l'on veut comprendre les activités réelles qu'y déploient les élèves, de préciser le champ notionnel concerné ainsi que les spécificités des images proposées. En effet, d'une part l'activité de l'élève ne prend son sens que par rapport aux objets de connaissance auxquels elle s'applique, l'image étant le moyen d'appréhender et de manipuler ces objets. Par ailleurs, la complexité d'une situation-image, pour des élèves d'un âge donné, dépend précisément des notions et opérations que requièrent aussi bien la tâche qui leur est fixée que les supports imagés auxquels elle se rapporte.

5.1. Élaborer des représentations et des procédures

s'interroger sur les
pertinences des
images pour
apprendre

Les activités d'imagerie qu'impliquent les situations proposées aux élèves, qu'il s'agisse de compréhension, de production ou d'utilisation d'images, sont des activités au travers desquelles sont visés des apprentissages tant sur le plan des élaborations conceptuelles que sur celui des schèmes et des procédures de traitement. En quoi les images, par leurs contenus d'information autant que par leurs modes de construction, sont-elles pour les élèves des moyens d'accéder à des réseaux de concepts ? Dans quelle mesure les images, par les activités auxquelles elles se prêtent, peuvent-elles devenir pour les élèves des outils fonctionnels pour traiter le réel, raisonner, résoudre des problèmes ? Rapport des images aux concepts, rapport des images aux opérations : tels sont les deux aspects de ce que nous appellerions volontiers "la pertinence des images", désignant par là aussi bien leurs **propriétés notionnelles** que leurs **pro-**

(17) C'est là un des thèmes majeurs de la psychologie du travail : la description de la tâche est un instrument d'analyse de l'activité réelle. Cf., par exemple : J. Leplat et J. Pailhous, "La description de la tâche : statut et rôle dans la résolution de problèmes", *Bulletin de psychologie*, XXXI, 332, 1978, ou encore : J.-M. Hoc, "L'articulation entre la description de la tâche et la caractérisation de la conduite dans l'analyse du travail", *Bulletin de psychologie*, XXXIII, 1979.

priétés fonctionnelles. Évoquons brièvement quelques-unes de ces pertinences des images pour apprendre les sciences (18).

• **Pertinences notionnelles des images**

le contenu de
l'image n'est pas
d'emblée une
connaissance

Plaçons-nous d'abord sur le plan des contenus de représentation auxquels les images permettent d'accéder. Le référent de l'image n'est jamais le concept de référence : voir n'est pas savoir. Même la plus abstraite des images n'est jamais qu'une "figure" sensible au travers de laquelle l'élève est invité à appréhender un aspect — et un aspect seulement — de la notion abordée : le schéma de fonctionnement d'une centrale thermique n'équivaut pas au concept d'énergie ; toutes les composantes du cycle naturel de l'eau ne peuvent être saisies par le biais d'une seule image. Pour toute image, d'ailleurs, fût-elle la plus familière, la question se pose de savoir à quels objets de connaissance elle renvoie et de quelle façon elle s'y rapporte (19). En offre-t-elle un exemple, un détail, une trace, une mise en contexte, une conséquence, une métaphore, un modèle graphique, à quelle échelle, de quel point de vue, à quel moment ? Les images constituent des chaînes de représentations en ce sens que ce que l'on y voit représenté au premier degré peut toujours encore être représentant d'autre chose. Une scène champêtre destinée à montrer "comment les plantes se nourrissent" peut ne pas être lue au niveau des relations systémiques qu'elle met en image mais seulement au niveau des éléments concrets qu'elle figure. Il y a tout un chemin cognitif à faire de l'identification à l'interprétation d'une image, **du contenu référentiel** qu'on peut lui associer **au contenu notionnel** qu'il est possible de lui attribuer dans le cadre de la tâche proposée, et nombreuses sont les opérations de pensée nécessaires pour franchir la distance. C'est l'une des fonctions de la tâche, d'ailleurs, que d'orienter et de guider ces opérations, de manière à relier précisément l'image aux concepts en jeu, à l'insérer dans le réseau des significations notionnelles pertinentes.

Si les schèmes et cadres conceptuels déjà construits par l'élève lui permettent de donner sens aux images, de les interpréter, de rapporter ce qu'il voit à ce qu'il sait, en retour on a des raisons de penser que les activités d'imagerie

(18) On s'interroge ici sur les possibilités qu'offrent, en propre, les images sur le plan des apprentissages conceptuels aussi bien que sur celui des apprentissages méthodologiques. Du point de vue du praticien, qui organise et gère les situations à supports imagés, la question de la pertinence devient celle du choix : quelles images ? Voir par exemple l'article de J.-Ch. Allain dans *Aster*, 21, 1995.

(19) F. Bresson (1981) souligne que l'image, à la différence du langage, ne porte pas en elle-même de marques énonciatives qui manifestent les opérations de référence à exécuter : « Rien ne marque si une figure réfère explicitement à tel ou tel objet réel, ou dénote des relations générales ou imaginaires. L'image, contrairement aux apparences, ne montre pas. »

l'image pour
relier les
concepts à des
contextes de
signification

les images
fournissent des
cadres
organisateurs

contribuent non seulement à donner du sens aux connaissances mémorisées et à les contextualiser, mais encore à les structurer. Par leurs contenus divers, les images permettent d'associer aux concepts des traits figuratifs et des ancrages contextuels qui les enrichissent en compréhension et leur ouvrent des champs d'application nouveaux. Par les configurations structurales, qui les distinguent à la fois de la perception directe et du langage verbal, elles font apparaître de nouvelles relations, de nouvelles "formes" qui peuvent induire des organisations ou réorganisations conceptuelles : le concept de volcan est-il bien séparable, à un certain stade de sa formation, de la vue en coupe qui en relie figurativement les éléments constitutifs ? Un espace géographique peut-il bien se penser sans la carte qui le représente ? Ainsi les images permettent-elles d'élaborer des représentations au sein desquelles se noue tout un ensemble de liens associatifs entre figures et concepts (20), entre "**aspects figuratifs**" et "**aspects déclaratifs**" de la connaissance. De ce point de vue, il ne fait pas de doute que les images participent à la référenciation des connaissances apprises (21). Mais, répétons-le, les images n'ont pas pour seul rôle cognitif d'évoquer ou d'instancier des concepts sous de multiples visages, elles ne se limitent pas à en donner une pluralité d'équivalences concrètes, ou même une "figure exemplaire" à valeur récapitulative ; elles participent à leur construction par cela même qu'elles leur fournissent des "espaces de représentation" permettant de **mettre en rapport de multiples éléments**, de les rassembler et de les intégrer dans des ensembles. Les tâches d'appariement de données ou d'organisation figurale, celles de coordination multi-vision ou de comparaison multi-objet, ou encore celles de synthèse graphique sont des exemples typiques où l'articulation des données s'effectue non pas dans l'abstrait, mais sur le plan même de la perception et de la manipulation des images. L'espace figural ou interfigural des images leur confère un **pouvoir intégrateur** dont le rôle est essentiel dans l'élaboration des représentations conceptuelles.

• *Pertinences fonctionnelles des images*

- Des tâches à accomplir aux opérations sollicitées

Des images pour quoi faire ? pour accomplir quelles tâches ? On ne saurait évidemment parler, de prime abord, des pertinences fonctionnelles des images que dans la mesure où des tâches à réaliser leur sont associées, et par

(20) L'un des procédés de la vulgarisation scientifique consiste à figurer des concepts, à leur donner forme imagée. D. Jacobi (1975) rapproche ce procédé de l'un des mécanismes qui, dans la théorie freudienne, participe au "travail du rêve" : la prise en considération de la figurabilité.

(21) Faut-il rappeler le mot célèbre de Kant sur la cécité des intuitions et la vacuité des concepts dès lors qu'ils ne sont plus mutuellement reliés ?

rapport auxquelles les images prennent valeur d'outils. Il ne s'agit plus ici de considérer les images du seul point de vue de leur valeur représentative, c'est-à-dire en tant qu'elles permettent d'élaborer des représentations internes de la réalité, mais du point de vue de leur **valeur opérative**, c'est-à-dire en tant qu'elles permettent de conduire des activités finalisées, de les guider, de les organiser.

La fonctionnalité des images repose d'une manière générale sur la correspondance entre les opérations qu'elles peuvent supporter et celles qu'on eût mises en jeu dans le réel si celui-ci avait été accessible et manipulable. Elle inclut donc l'idée d'une validité de ces opérations. Mais toutes les tâches ne se situent pas dans la même position par rapport aux images.

. Ainsi les tâches pratiques d'identification ou d'effectuation portent directement sur la réalité, et les représentations imagées qui y concourent ne font l'objet que d'activités symboliques ayant pour but d'assurer les planifications et réglages de l'action réelle (22) : c'est pour assurer le traitement de ce genre de situations que l'on a recours à ces images "utilitaires" que sont les schémas de montage, les plans d'architecture, les vues éclatées d'objets techniques, les cartes routières, les imageries de diagnostic médical ou encore les planches de champignons dangereux.

. D'autres tâches, celles notamment qui impliquent des analyses quantitatives de données, s'appliquent à la matérialité même des images qui doivent être précisément codées et calibrées pour ce faire : l'image est fonctionnelle en ce qu'elle contient précisément, dans un format adéquat, les informations à traiter (23).

. D'autres tâches encore, qu'on pourrait appeler "tâches d'interprétation" s'appliquent aux objets et phénomènes par le biais des images qui en représentent symboliquement certaines propriétés, sans que l'élève ne sache à l'avance lesquelles ; s'instaure alors un va-et-vient entre ce que l'on croit savoir des réalités représentées et le tableau visuel qu'en offre l'image : la tâche est ici d'abord de comprendre l'image pour comprendre le réel. Pour éviter que ne soient indûment imputées au réel des caractéristiques propres aux signifiants, il devient alors nécessaire de recourir à une plu-

différentes
activités
d'imagerie selon
les tâches

(22) On peut ici se référer aux études qui portent sur "les représentations fonctionnelles" dans les situations de travail, notamment quand ces représentations ne restent pas dans la tête des opérateurs mais sont matérialisées sous formes d'images graphiques : par exemple, J. Leplat, J.-M. Hoc, A. Weil-Fassina, P. Vermersch. Cf. aussi la notion d'*image opérative* de D.A. Ochanine (*Psychologie et Éducation*, 3, 2, 1978).

(23) Le travail de D. Beaufiles et J.-C. Le Touzé, "Des images pour des activités scientifiques", publié dans ce même numéro d'*Aster*, insiste tout particulièrement sur les propriétés fonctionnelles que doivent présenter les images pour se prêter à des activités de mesure et d'analyse en sciences physiques.

ralité de représentations, chacune apportant ses pertinences spécifiques.

. Enfin, toutes les tâches qui visent à élaborer des expressions imagées, que ce soit à partir d'autres images, de fragments figuratifs, de données numériques ou langagières, d'observations, ou encore à partir de ses propres représentations internes, situent les fonctionnalités de l'image à un autre niveau, celui des contraintes d'explicitation et d'organisation visuelle, susceptibles de structurer en retour les contenus de pensée que traduit l'expression imagée (24) : à travers l'activité de réalisation graphique, l'élève manipule symboliquement des aspects du réel, c'est-à-dire les représentations mentales qu'il s'en forme.

Ainsi les activités d'imagerie ne s'inscrivent-elles pas dans les mêmes logiques fonctionnelles selon les tâches qui les sollicitent et les utilisent. Mais quel que soit le degré d'extériorité de ces tâches par rapport à l'image, depuis celles qui portent sur une réalité concrète que l'image aide à structurer jusqu'à celles qui consistent à mettre en image un contenu de pensée, toujours l'image sert de support fonctionnel à des activités de traitement qui mettent en jeu des représentations internes de la réalité. Dans le cas des "usages pratiques", l'image sert à simuler des actions sur l'objet, et donc à agir par anticipation sur les représentations que l'image permet de s'en faire. Dans le cas des réalisations graphiques, l'image est toujours, là aussi, un support d'activités mentales, mais un support qui enregistre et conserve la trace des traitements symboliques du réel, alors que dans d'autres situations, il faut aller chercher ces traces dans des conduites effectives ou des productions verbales.

Ce qui finalement est plus ou moins extérieur à l'image, selon les situations proposées, ce n'est pas l'activité, mais le résultat de cette activité. Dès lors, ce n'est pas seulement du point de vue des résultats qu'elles permettent d'obtenir, que les images peuvent avoir des propriétés fonctionnelles, mais du point de vue des **opérations** qu'elles permettent d'exercer. Ce qui importe, en effet, dans les tâches proposées aux élèves, ce n'est pas le but assigné, qui n'est qu'un inducteur d'activités, mais bien les procédures mises en jeu pour y parvenir, et au travers desquelles se construisent des apprentissages (25). Faut-il préciser que l'essentiel ne réside

fonctionnalités
des images
par rapport à
des activités
de pensée

(24) Les graphismes produits peuvent, bien entendu, être utilisés dans des tâches ultérieures, par exemple, de communication, de fabrication d'objets ou de comparaison avec d'autres images.

(25) De ce point de vue, les "situations-images" se distinguent doublement des usages qui sont faits des images en dehors de l'école : d'une part, elles associent aux images quelque chose à faire, ce qui les distingue des usages de loisir ; d'autre part, les tâches à réaliser avec les images n'ont d'intérêt que par les apprentissages qu'elles permettent d'induire, ce qui les distingue des pratiques utilitaires de l'image, qu'elles soient professionnelles ou vulgarisées.

pas non plus dans les actions matérielles qu'autorisent les images mais dans les activités mentales qui les sous-tendent ? Simplement, la médiation matérielle des images est indispensable pour que ces activités aient lieu, se règlent et s'organisent.

- L'image, espace analogique de traitement et de mise en forme du réel

fonctionnalités
des images en
tant que
constructions
sémiotiques

Les propriétés fonctionnelles des images consistent d'abord en l'éventail des actions qu'elles rendent possibles. Les images, dont il est ici question, ne sont pas des entités mentales (26) : elles sont inscrites sur des supports, associées à des dispositifs techniques de traitement et s'offrent au regard selon des modalités de présentation différentes. Les images ont donc ce qu'il convient de nommer des "*fonctionnalités matérielles*". C'est de ce point de vue que nous nous sommes placés, précédemment, quand il s'agissait de caractériser les données des situations-images (27). Mais les images sont des modes de représentation spécifiques : la façon dont l'information y est codée les distingue clairement, par exemple, des représentations linguistiques (28) ; il importe alors de s'interroger sur leurs "*fonctionnalités sémiotiques*" : en quoi les images, en tant que constructions sémiotiques spécifiques, peuvent-elles favoriser l'élaboration et l'organisation de procédures de traitement, de manière à rendre opérantes les représentations que les élèves se font du monde ? C'est là, nous semble-t-il, l'un des aspects essentiels des fonctions que les images peuvent avoir dans les apprentissages scientifiques. Nous nous bornerons ici à évoquer deux propriétés majeures des représentations imagées : leur **caractère spatial** et leur **caractère analogique**.

l'image comme
représentation
spatiale...

. Ce qui est commun à toutes les images est l'organisation spatiale des informations qui permet de situer les traitements à plusieurs niveaux de regroupement des éléments. L'image permet non seulement de traiter des blocs d'informations (des "*patterns*") sans obliger à procéder analytiquement, elle permet aussi de maintenir la cohérence d'un tout

(26) Dans son ouvrage *Image et cognition*, M. Denis accorde une grande importance aux propriétés fonctionnelles des représentations imagées : ce qu'il développe concerne les images mentales, mais peut s'appliquer en grande partie aux images matérielles, sauf que celles-ci sont perceptibles et manipulables par l'intermédiaire de leurs supports physiques et qu'elles ne dérivent pas, loin s'en faut, de la seule perception visuelle. Les images matérielles peuvent, en outre, remplir une fonction de communication, que ne peuvent avoir les images mentales.

(27) Voir supra : 3. L'image au travail, § 3, p. 21.

(28) C'est ainsi qu'A.-M. Drouin écrit, pour définir le domaine hétérogène des images : « *On se donnera pour règle conventionnelle de désigner sous le nom d'image l'ensemble des objets ayant pour point commun de s'opposer au "langage" ou au "texte"* » (Aster, 4, 1987).

... est un format
de traitement

et l'ensemble des relations qui lui sont inhérentes pendant que l'examen se focalise sur des parties distinctes. À chaque image son propre mode de codage et de mise en forme du réel qui implique des procédures spécifiques de traitement : une vue en coupe, un histogramme, une carte, un dessin technique, une stroboscopie, une vue satellitaire, une pyramide des âges ne sont pas seulement des modes de représentation mais des outils de traitement qu'il faut apprendre à utiliser. Les images ne contribuent pas seulement à l'organisation des représentations du réel ; grâce aux modalités de traitement spatial qu'elles autorisent, elles contribuent aussi au réglage et à la structuration des actions, elles participent à l'élaboration des procédures (29). Au couple piagétien "figuratif-opératif", par trop antagoniste, nous proposerions volontiers de substituer l'articulation plus soudée "**figural-procédural**" pour souligner notamment que l'espace figural, loin d'être un obstacle aux opérations, en est un lieu privilégié de transposition et d'organisation (30) : l'espace visuel est un support de raisonnement (31), et l'on sait que toute la sémiologie graphique (32) repose sur l'art de convertir en relations spatiales les relations de distinction, d'ordre ou de proportion. L'espace de l'image est un

-
- (29) Dans "Outils graphiques, anticipation de la tâche, raisonnement" (*Aster*, 6, 1988), B. Peterfalvi souligne le rôle que peuvent jouer les outils graphiques dans l'organisation d'une démarche expérimentale. Par la vision globale qu'ils procurent, les outils graphiques, et tout particulièrement les tableaux, assurent une double articulation : d'une part, entre anticipation et réalisation effective de la tâche, d'autre part, entre le plan, intellectuel, des raisonnements et celui, matériel, de la succession des actions mises en œuvre.
- (30) Pour souligner aussi que les types de traitement sont intimement liés aux types de codage représentatif. Nous donnons ici à "**figure**" le sens exact d'arrangement de données, qui les dispose à être traitées selon certaines procédures.
- (31) F. Bresson parle de "*calcul figural*" et se plaît à rappeler l'exemple des nombres figurés, chers aux pythagoriciens. Il conclut justement son article "Compétence iconique, compétence linguistique" (1981, p.194) sur le pouvoir des figures pour penser : « *Le figural peut permettre des activités de pensée extrêmement élaborées. [...] L'intérêt de la considération de ces figurations abstraites (que sont les nombres figurés), c'est de faire apparaître que l'on peut penser par figure, ou avec des figures, et ceci d'une manière aussi complexe que la pensée par le langage.* » Les dernières lignes de l'article illustrent parfaitement notre propos : « *La "théorie" spontanée repose sur l'opposition d'un concret et d'un abstrait, d'un immédiat de l'image et d'une médiation du langage. Je pense qu'il est clair qu'il n'en est rien. Le problème est plutôt de développer une réflexion sur les pratiques possibles des différentes formes de représentation, sur les conditions de leur articulation entre elles et sur les conditions offertes pour développer les capacités de traitement des organisations figurales.* »
- (32) J. Bertin (1970, 1977) a particulièrement insisté sur la pertinence fonctionnelle de la "*construction graphique*". Cf. "La graphique" (in *Communications*, 15, 1970), *La graphique et le traitement graphique de l'information* (1977).

“format de traitement” permettant d’opérer sur toutes sortes de données, même les plus abstraites, les plus insaisissables, dès lors qu’elles viennent s’y produire sous une forme spatiale, à la portée de nos capacités de traitement visuel.

l’image comme
représentation
analogique...

. Les images ne sont pas seulement des représentations spatiales, mais des représentations analogiques. Le caractère analogique de l’image ne se limite pas à la ressemblance perceptive, qui n’en est qu’un cas très particulier ; nous ne désignons pas par là, non plus, le mode d’obtention ou le format d’inscription des données visualisables : l’image numérique ou l’image numérisée n’en perdent pas pour autant leurs propriétés analogiques du point de vue sémiotique. Une image graphique comme un histogramme est elle-même analogique puisque convertissant en variables visuelles continues, selon des règles de proportion, des grandeurs numériques. La fonction essentielle de l’analogie, dit à peu près C. Metz (33), est de transférer des significations. Nous dirions volontiers qu’elle est aussi de **transférer des procédés**. La reconnaissance d’une parenté des formes permet d’appliquer à de nouvelles situations les schèmes de traitement et de résolution construits au travers d’expériences antérieures (34). La perception visuelle des choses constitue sans nul doute le lieu d’élaboration première de ces schèmes d’action. Mais les images elles-mêmes, en vertu de leurs propriétés analogiques, contribuent à tisser tout un ensemble de correspondances, tout un jeu d’assonances-dissonances, assurant l’extension autant que la différenciation progressive des structures de traitement de la réalité. L’analogie n’est pas seulement ce qui relie l’image au monde, mais ce qui, d’une image à l’autre, relie entre elles les représentations plurielles du monde, de sorte que s’y appliquent des traitements semblables. Les images permettent d’entrer dans les phénomènes, de les rendre commensurables et de faire apparaître des similitudes à un niveau que la seule perception directe ne peut dévoiler : ainsi la courbe de Gauss permet-elle de regrouper sous le même modèle des phénomènes de probabilité de tous ordres qui ont en commun de se répartir selon

... permet
l’assimilation de
nouvelles
situations

(33) Cf. C. Metz, “Au delà de l’analogie, l’image”, *Communications*, 15, 1970 : « L’analogique, entre autres choses, est un moyen de transférer des codes. »

(34) L’analogie met en mouvement les “structures assimilatrices de nouvelles situations”, ce que les cognitivistes, dans la lignée des théoriciens de la Forme, nomment diversement “schéma”, “cadre”, “scénario”, “plan”, “script”, “prototype”, “collection”, etc. Dans son article “Compétence iconique, compétence linguistique” (1981), F. Bresson souligne l’extrême précocité chez les bébés (dès les premières semaines de la vie) d’une capacité de traitement des formes ; il cite des travaux mettant en évidence que, dès le cinquième mois, les enfants sont tout à fait sensibles à la similarité entre une photographie et l’objet familier qu’elle représente.

une distribution normale. Les “invariants opératoires” (35), par lesquels la pensée a prise sur le réel, ont-ils d'autres fondements que l'analogie ? (36)

Ainsi, les images, articulées à des “domaines de tâches” (37) ont-elles des pertinences notionnelles et fonctionnelles permettant aux élèves de manipuler des connaissances au travers des éléments symboliques sur lesquels porte leur activité : dans quelle mesure vont-ils s'approprier ces schèmes de représentation et de traitement, de sorte que le travail sur l'image soit authentiquement un travail de la connaissance ?

5.2. Difficultés de la tâche et stratégies des élèves

Dispositifs de médiation permettant à un sujet d'agir sur un objet par le moyen symbolique d'une image, telles pourraient se définir les situations-images. Une situation-image est un système “objectivé” de représentation et de traitement dont la visée est de rendre le réel représentable et manipulable. Elle comporte donc pour les élèves une **complexité cognitive** (38), qui tient en partie à la nature des images qu'il leur est demandé de lire, modifier ou produire, en partie à la nature des tâches dont ces images font l'objet.

- Premier niveau de cette complexité des images : leur dimension sémiotique, c'est-à-dire l'activité de codage-décodage qu'elles impliquent de la part des élèves. Mais les règles de représentation recouvrent un niveau plus profond, qui est celui-là même des **structures de représentation** par lesquelles les images “construisent” les réalités qu'elles présentent : les schèmes d'organisation de l'espace et du temps, les formes, partitions et relations au travers desquelles elles donnent à penser le monde. Là réside, à proprement parler, la dimension épistémique des images. S'il est une raison pouvant justifier la place des images dans les

difficultés des images...

(35) On peut relier ce propos à celui que développe G. Vergnaud, à travers la notion d’*“homomorphisme”*. Cf., par exemple “Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation” (in *Psychologie Française*, 30, 3-4, 1985) ou encore “Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant” (in *Didaskalia*, 5, 1994).

(36) Dans *Éloge de la simulation* (1986), P. Quéau parle de « cette “*pulsion analogique*” apparemment constitutive de notre pensée ». Dans *Le virtuel* (Champ Vallon, 1993, p. 182), il cite le mot de Platon : « *L'analogie maintient tout.* »

(37) Par cette expression, proche de ce que G. Vergnaud appelle “*champ conceptuel*”, J.-M. Hoc (*Psychologie cognitive de la planification*, PUG, 1987) entend désigner un ensemble de situations associant, à des objets et à leurs propriétés, des représentations et des traitements qui leur sont liées.

(38) A. Weill-Fassina développe une approche similaire dans son article “Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphismes techniques” (*Bulletin de psychologie*, XLI, 386, 1988, p. 645-653).

apprentissages scientifiques, c'est bien de permettre aux élèves de s'approprier ces schèmes organisateurs dont elles sont porteuses, et qui les amènent justement à percevoir et structurer les choses d'une tout autre façon que ne peut le faire la perception ordinaire mais aussi selon d'autres découpages et d'autres articulations que ceux qu'impose le langage (39).

... et difficultés
des tâches
relatives aux
images

- Mais cette appropriation ne saurait se réaliser qu'au travers d'un **travail sur l'image** : il convient alors d'analyser la complexité que peut comporter une situation-image, non pas seulement sur le plan de ce qu'elle donne à voir mais sur le plan proprement opératoire, compte tenu de ce que la tâche exige de l'élève et compte tenu des "objets" que l'image permet de manipuler. Quelles sont les compétences requises par une tâche-image ? Peut-on raisonner indépendamment des objets sur lesquels on raisonne ? On sait l'importance qu'accordent les post-piagétiens (40) aux contenus et contextes, sources de ces "décalages horizontaux" difficiles à expliquer dans le cadre de la théorie opératoire de Piaget. Une tâche de sériation d'images n'est évidemment pas équivalente à une sériation de bâtonnets : que range-t-on quand on range des images ? On voit à quel point la difficulté de la tâche dépend du type d'image que l'élève est amené à traiter. De la tâche prescrite à l'activité réelle que déploie l'élève, il y a donc tout un ensemble de décalages et de dérives possibles (41). Un élève peut accomplir une tout autre tâche que celle qu'on lui demandait ; cela s'observe souvent, par exemple, quand l'élève se méprend sur le niveau de réponse qui lui est demandé, qu'il s'agisse d'une production verbale ou graphique : décrire au lieu d'expliquer, faire un croquis d'observation quand il est question de faire un plan, réunir

(39) Dans son article "La fonction crée l'organe" (in *Communications*, 33, *Apprendre des médias*), G. Salomon se pose une question voisine au sujet de l'influence des éléments symboliques propres aux médias, notamment cinéma et télévision, sur le développement cognitif : « Certains éléments des médias peuvent-ils être intériorisés et utilisés comme "instruments de la pensée" ? ». Ce thème de l'intériorisation des médiations symboliques s'inspire très directement de L.S. Vygotsky et J. Bruner.

(40) Citons, en particulier G. Vergnaud et J. Lautrey. La thèse de J. Lautrey (1987) prend précisément comme point de départ les nombreuses observations qui tendent à montrer l'influence des contenus sur les structures opératoires. Ce qui conduit l'auteur à proposer, pour expliquer le développement cognitif autant que le fonctionnement dans une tâche, l'idée d'une dialectique entre deux modes de traitement : l'*analogique* et le *propositionnel*, le premier étant justement sensible aux configurations globales, aux ressemblances et aux effets de contexte, le second procédant analytiquement par décomposition-recomposition des éléments.

(41) Sur ce point, voir par exemple : J. Leplat, J.-M. Hoc, "Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations" (*Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 1983), notamment pour la distinction "tâche prescrite / tâche effective".

comment
les élèves
procèdent-ils ?

des éléments en classes au lieu de les ordonner, etc. Par ailleurs, pour une même tâche, des élèves peuvent procéder de multiples manières ; une même image peut être comprise de façons très différentes. Dans quelle mesure la consigne exerce-t-elle une influence sur la façon de traiter l'image, d'en sélectionner les informations pertinentes, aussi bien en lecture qu'en production ? Les variations des conduites peuvent tenir à la nature des images et au domaine de connaissance concerné ; elles peuvent dépendre des différences individuelles, des connaissances préalables, des procédures disponibles, des styles de traitement, variables d'un élève à l'autre. C'est l'objet actuel de nos investigations que de chercher à identifier les **stratégies des élèves** dans les situations-images qui leur sont proposées. Pour ce faire, deux sortes de dispositions sont envisagées.

- Certaines situations peuvent être aménagées de sorte que ne soient pas accessibles à l'observation seulement les productions finales mais les **cheminements** mêmes des élèves, par les traces ou verbalisations qui accompagnent le déroulement de leur activité. C'est le cas, par exemple, des situations sur ordinateur, par l'adjonction de modules d'enregistrement et d'analyse des réponses (42). C'est le cas aussi des situations où c'est le questionnement de l'adulte qui guide et oriente l'activité de l'élève en définissant, en quelque sorte, la tâche pas à pas (43).

l'explicitation
des activités
mentales liées
aux images

- D'autres dispositions visent à **faire expliciter** par les élèves eux-mêmes certains aspects de leur activité, à les faire revenir, de manière réflexive, sur leur propre démarche. Elles offrent l'intérêt de déclencher d'éventuelles prises de conscience qui peuvent être source de réorganisations conceptuelles (44). Ainsi, les phases de mise en commun sont, en elles-mêmes, des occasions d'explicitation : les élèves, en fin de tâche, confrontent les résultats auxquels ils sont parvenus, discutent des choix effectués, voire recherchent une solution commune. Une seconde manière consiste à inviter les élèves, chacun pour leur propre compte, à expliciter les motifs qui ont guidé leur activité, à justifier les choix opérés : ce type d'explicitation est souvent inclus dans la tâche même (45). Enfin, dans le prolonge-

(42) On trouve dans *Images, systèmes, modèles* (INRP, à paraître) un exemple de cette technique : "Dynamique des populations" (P. Lampin, IUFM Arras).

(43) On peut trouver ici-même, dans ce numéro d'*Aster*, un exemple avec le travail de P. Schneeberger et C. Gouanelle, notamment la première situation de lecture d'une photographie se rapportant à la fécondation.

(44) Cet aspect est abordé dans *Aster*, 12, *L'élève épistémologue*, et repris en partie dans *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, chap. 4, p. 177-205 : "Compétences méthodologiques et métacognition" (1991).

(45) Les situations-images, pour beaucoup d'entre elles, impliquent des verbalisations. Il faut cependant distinguer entre les "verbalisations premières", qui expriment directement le résultat d'un travail d'ana-

ment d'une situation-image, on peut recourir à des "entretiens d'explicitation", s'inspirant de la méthodologie définie par P. Vermersch (1994) : après la tâche, quelques élèves, individuellement, sont mis en situation de restituer verbalement des contenus de pensée, des impressions et dialogues intérieurs qui ont pu accompagner leurs conduites (46).

Il est clair que chacune de ces approches comporte des biais, qui tiennent à l'influence de l'adulte ou à la perception de ses attentes, à l'induction des questionnements, à la part que prend l'imagination dans la restitution d'événements intérieurs, à la difficulté de mettre en mots ce qui n'est pas nécessairement "réfléchi" dans la conscience de l'élève. Par ailleurs, ces approches ne sont pas toujours compatibles avec les contraintes habituelles que comporte la conduite d'une classe : il faut les voir surtout comme des "zooms" très limités et très modestes par lesquels on tente d'élucider une part de ces immenses zones d'ombre que constitue l'activité des élèves dans leur rapport aux images.

6. IMAGES ET PARCOURS DE CONNAISSANCE

Une situation-image n'est que l'un des moments d'activité d'une démarche, plus complexe, de construction d'un savoir scientifique : elle ne constitue, pour les élèves, qu'un "exercice" possible dans une progression d'apprentissage. La question que nous posons ici est celle de la place et de la fonction des images dans la logique d'une démarche scientifique et non pas seulement dans des situations délimitées qui n'en représentent que des moments particuliers. Les séquences que nous avons expérimentées dans les classes consistent le plus souvent en un enchaînement de situations, dont certaines, d'ailleurs, n'impliquent pas d'activités d'imagerie proprement dites. Il est clair que la signification d'une situation-image, du point de vue des apprentissages scientifiques, provient de la "visée" (47) dans laquelle elle

les situations-
images, moments
d'une démarche

lyse ou de raisonnement sur l'image (la réponse étant demandée sous forme verbale), et les "verbalisations ajoutées", d'ordre métacognitif, qui explicitent le pourquoi des résultats fournis ou qui retracent la démarche suivie. Ce deuxième type de verbalisations — verbalisations d'explicitation — est souvent perçu comme nécessaire par l'enseignant quand justement la tâche s'accomplit de manière non verbale : si l'on demande, par exemple, à l'élève de choisir des images ou de les mettre en ordre, un deuxième temps consistera à lui faire justifier les solutions qu'il propose.

(46) Plusieurs exemples sont fournis dans *Images et construction de l'espace* (INRP, à paraître) : "Croquis de ville, conditions et genèse de l'expression cartographique" (M. Picrel, IUFM Cergy).

(47) Par exemple, en technologie, à l'école élémentaire, concevoir, fabriquer, faire fonctionner, analyser, apprendre à représenter... peuvent constituer des "visées" par rapport auxquelles s'ordonnent les différentes situations-images.

s'inscrit : quelles sont les connaissances qu'elle permet de manipuler ? sur quelles activités antérieures s'appuie-t-elle ? à quelles prochaines activités prépare-t-elle ? Une même situation-image, consistant par exemple, en une mise en séquence de photographies ou en une schématisation graphique, peut s'inscrire dans différentes logiques de progression. Si l'on veut faire jouer aux images un rôle essentiel dans les apprentissages scientifiques, il importe, comme nous l'avons souligné d'emblée, au début de cet article, de leur associer des tâches, c'est-à-dire de convertir les images en supports d'activités ; mais ceci n'est qu'une première étape. Les images, étant insérées dans des tâches fonctionnelles, restent à insérer, à leur tour, ces tâches-images dans des modules de travail, d'ordre supérieur, organisés autour d'un ensemble d'objectifs notionnels et méthodologiques. En d'autres termes, comment se situent les images, et les tâches qui leur sont associées, dans le processus d'élaboration des savoirs scientifiques que l'élève est appelé à mettre en œuvre ?

6.1. Les images, entre langage et réalité

Remarquons d'abord que dans ce processus interviennent, outre les images, des éléments de langage et des éléments de réalité. Transmissions verbales et observations du réel ont même assurément une place plus grande dans l'enseignement des sciences que les images elles-mêmes ; par ailleurs, langage et réalité donnent lieu à toutes sortes d'activités, puisque les élèves sont, en principe, assez généralement conviés à manipuler des textes et des objets, à en fabriquer eux-mêmes, en rapport ou non avec des images. Au sein même des situations-images, il n'est guère d'activités qui n'impliquent des verbalisations à comprendre ou à produire, et, dans de nombreux cas, le réel n'est pas seulement évoqué au travers d'images figuratives, il est présent et accessible à l'observation, voire à la manipulation, comme, par exemple, dans les situations de technologie. La question des rôles spécifiques que les images peuvent jouer dans la construction des savoirs scientifiques revient donc à poser celle de leurs rôles par rapport au langage d'une part, au réel d'autre part, et, très certainement, enfin, de leurs **rôles médiateurs** entre les deux. Toutes les considérations que nous avons développées jusqu'ici montrent bien que nous n'assignons pas seulement à l'image un "rôle par défaut", un rôle supplétif qu'on pourrait ainsi formuler : l'image, quand on ne peut plus dire, ou l'image quand on ne peut plus voir ; l'image quand le langage fait défaut ou que la réalité s'obstine à ne pas se montrer... Les images ne sont pas plus des substituts de réalité qu'elles ne sont des substituts de langage ; ou alors, il faut concevoir que la substitution transforme au point de rendre pensable et opérable, sous des formes originales, ce qui ne l'était pas dans le format initial. Nous aurions même un penchant à considérer la per-

une nécessaire
pluralité des
registres de
représentations
et d'activités

les images jettent
des ponts entre
le réel et le
discours

ception visuelle des choses comme une espèce d'image, car le "réel" ne se réduit pas à ce que nos sens en perçoivent, et nous ne serions pas loin d'accepter de considérer, avec F. Dagognet (1973, 1984), que les écritures conventionnelles sont aussi des espèces d'images (48). Remarquons simplement que par rapport au langage verbal, ce que nous avons jusqu'ici appelé "images" opère une mise en référence, pour ne pas dire une **mise en visibilité** (par le truchement d'un espace figural), alors que par rapport au réel, l'image opère une mise en symbole, pour ne pas dire une **mise en langage** (49) : mais l'image ne recopie pas le texte du monde, elle le réécrit.

les niveaux
d'images laissent
entrevoir des
progressions
possibles

Toutes sortes d'"images" interviennent donc dans les démarches de construction des savoirs scientifiques, toutes sortes d'images qui ont des pertinences différentes par rapport à ce que l'on étudie et qui présentent des niveaux différents de complexité pour ceux qui sont invités à les observer, les comprendre, les utiliser, les réorganiser, les fabriquer, en vue de construire, par leur médiation, des connaissances. La complexité d'une situation-image tient principalement, comme nous l'avons souligné, aux schèmes opératoires que sollicitent les tâches proposées, compte tenu des types d'images qu'il s'agit de travailler : ainsi les schèmes spatiaux que mobilise l'expression cartographique ne sont-ils pas de même niveau que ceux que requiert la compréhension d'une vue perspective du même territoire (50). La notion d'échelle implique des schèmes de proportionnalité dont on sait qu'ils ne sont guère acquis avant la fin de l'école élémentaire. La coordination des différentes vues d'un objet en trois dimensions implique des possibilités de décentration qui sont également fonction de l'âge. Les situations-images peuvent ainsi se distribuer selon des **progressions** qui, pour un domaine notionnel donné, prennent en compte non seulement la difficulté formelle des tâches demandées aux élèves mais aussi et surtout ce que nous appelons les "niveaux épistémiques" des images, c'est-à-dire les niveaux de traitement cognitif du réel qu'elles impliquent, aussi bien en compréhension qu'en production. Bien que les règles de codage soient, en elles-mêmes, sources possibles de nombreux obstacles (51), la difficulté d'une

(48) Textes et images ont au moins en commun d'être des "inscriptions", et l'on sait toute l'importance que leur accorde, par exemple, B. Latour (1985) dans l'élaboration des savoirs scientifiques.

(49) Nous avons développé cet aspect dans la conclusion d'*Images et construction de l'espace* (INRP, à paraître) : "De l'image à la pensée".

(50) Cf. *Images et construction de l'espace*, INRP, à paraître.

(51) Sur ce point, on peut se reporter à : "Aspects de la schématisation en didactique des sciences" (J.-P. Astolfi, Y. Ginsburger-Vogel, B. Peterfalvi, *Bulletin de psychologie*, p. 694-700, 1988), ainsi qu'à : "Obstacles liés à l'usage de graphismes" (J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi, A. Vérin, *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, p. 129-135, INRP, 1991).

image provient essentiellement de la complexité des propriétés et relations qui se trouvent, par son intermédiaire, devoir être appréhendées et manipulées. On peut alors considérer que le "niveau d'image" est l'une des dimensions susceptibles d'avoir une importance dans la construction d'une démarche de connaissance. Il paraît naturel, en effet, de commencer l'étude d'un domaine par des images proches des apparences perceptives pour progresser dans le sens d'images plus abstraites impliquant, par le biais de langages graphiques spécifiques, le maniement de structures conceptuelles plus difficiles d'accès : ainsi les images, prenant leurs distances d'avec le spectacle des apparences immédiates, permettraient de déplacer progressivement les activités cognitives du plan de la perception à celui de la conceptualisation, rendant ainsi possible la mise en langage de la réalité.

6.2. Figurer, schématiser, modéliser

Cependant, si l'on prend comme point de départ les conditions dans lesquelles nous percevons les choses, *hic et nunc*, c'est-à-dire les référents empiriques auxquels les élèves peuvent se rapporter, les images ne s'en éloignent pas dans une seule direction, qui serait celle de l'"abstrait", comme l'échelle d'iconicité d'A. Moles (52) semble le supposer, mais plutôt dans trois directions bien différentes. D'abord, elles amènent au visible ce que nos sens ne peuvent par eux-mêmes percevoir ; ainsi nous permettent-elles d'observer l'invisible. Ensuite, elles structurent les choses, les rendent lisibles, en nous donnant à voir non pas tant un "réel", qu'un savoir organisé sur le réel ; elles imposent à la réalité les schèmes de la pensée. Enfin, les images nous arrachent aux déterminations du réel en nous faisant concevoir des mondes possibles ; elles modélisent et simulent pour explorer ou faire comprendre la complexité de notre monde réel. *« Les images comportent ainsi une triple puissance de figuration, de schématisation et de modélisation. Nous dirons qu'elles assument une triple visée : rendre visible, rendre lisible, rendre prévisible... On peut dès lors apercevoir le lien étroit que les images entretiennent avec les démarches scientifiques et les singulières possibilités qu'elles ouvrent d'observer le monde, de le conceptualiser et de le manipuler*

les images
s'éloignent de
la perception
dans trois
directions
différentes

figurer,
schématiser,
modéliser

(52) A. Moles développe dans *L'image, communication fonctionnelle* (1981), dans le chapitre II qu'il consacre au schéma, l'idée d'une "échelle d'iconicité" (iconicité décroissante, corrélatrice d'une abstraction croissante). Cette dimension de "schématisation", sur laquelle peuvent se situer les différentes sortes d'images selon leur degré d'abstraction, est reprise par l'auteur dans de nombreux écrits. Cette échelle, qui comporte initialement chez A. Moles 12 degrés d'abstraction, n'en comporte plus que 5 dans l'emprunt qu'en fait A.-M. Drouin (*Aster*, 4).

par l'interposition de représentations symboliques qui sont des médiations de connaissance. » (53)

- Dans ce travail de la connaissance, le rôle premier de l'image n'est pas de quitter le plan de la perception, mais tout au contraire d'y ramener de la manière la plus sensible, par des procédés symboliques de figuration, ce qui échappe à l'emprise de nos sens : son rôle est d'abord de convocation et de mise en évidence des objets à connaître. Certes, l'image peut se limiter à les évoquer quand ils nous sont familiers et qu'il s'agit surtout de les désigner, de les reconnaître comme étant ce à quoi le discours se réfère, mais toute la puissance de l'image consiste à permettre au regard d'explorer ce qui lui est par nature inaccessible : quels que soient leurs procédés d'obtention, les images sont d'abord des "révélateurs". Ainsi permettent-elles d'élargir la base des données à considérer, les phénomènes et contextes de référence par rapport auxquels les connaissances à construire prendront leur sens.

le travail
de l'image...

- Mais les images n'ont pas seulement une puissance de captation, elles filtrent, délimitent, décomposent, simplifient : elles fonctionnent comme des "analyseurs". Leur rôle n'est plus alors d'observation, mais de structuration des données : ainsi en est-il des schémas, cartes, diagrammes et tableaux. À ce niveau, l'espace de l'image n'est plus seulement un espace de visualisation, mais un espace de traitement graphique permettant surtout de faire apparaître des relations, de distinguer, de classer, d'ordonner, de hiérarchiser. « La schématisation, dit A. Moles, augmente la lisibilité du monde... elle est l'outil essentiel de la pensée. » (54) On retrouve là comme un écho de la formule célèbre d'E. Goblot : « Penser, c'est schématiser. »

- Enfin, l'image reconfigure le réel à sa manière, elle le reconstruit et le fait fonctionner en le faisant apparaître comme une conséquence de la construction symbolique qu'elle propose : elle prend de l'avance sur la réalité, elle en fournit des modèles, c'est-à-dire des matrices ou encore des vues de l'esprit, selon qu'elle fait preuve de calcul ou d'imagination. En termes piagétiens, nous dirions volontiers qu'elle n'est plus sur le versant accommodateur de la connaissance mais sur le versant assimilateur (55). Un

(53) Cf. G. Mottet, *Le travail de l'image : figures, schémas, modèles* (document interne INRP, 1989), fragment repris dans "Représentations imagées et traitement des connaissances", in *Technologies nouvelles et éducation. Le point sur les recherches achevées à l'INRP en 1991 et 1992* (INRP, 1993). Cf. aussi *Volcans et tremblements de terre* (INRP, 1995), p. 53-57, p. 236-239.

(54) Cf. A. Moles, "La visualisation thématique du monde", in *Nouvelles images, nouveau réel* (1987).

(55) Chez Piaget, perceptions, imitations, images mentales sont des instruments "figuratifs" par lesquels le sujet s'accommode à son environnement, tandis que schèmes sensori-moteurs et opérations sont les instruments "opératifs" par lesquels il assimile le réel à ses propres structures.

... est un travail
de la
connaissance

modèle graphique est opératoire en ce qu'il est un instrument dont la fonction n'est plus seulement de représenter une réalité, quel que soit son niveau de généralité, mais d'en simuler certains aspects et donc d'en générer, par manipulation symbolique, de multiples versions possibles. Les images n'ont plus alors simplement des vertus de mise en évidence ou d'analyse du réel, elles fonctionnent comme des "synthétiseurs" (56). Reste à "accorder" les représentations qu'elles génèrent aux observables qu'elles fournissent par ailleurs.

Ainsi semble se dessiner comme un **parcours de connaissance** au terme duquel l'image n'a plus en charge de véhiculer les formes perçues de la réalité mais d'exprimer les modélisations provisoires de la pensée. Les trois directions d'imagerie que nous venons de signaler — figurer, schématiser, modéliser — peuvent être vues comme des indications d'étapes dans la construction des savoirs scientifiques par les élèves (57). À chacune de ces étapes, le rôle permanent de l'image est de transposer dans le registre de la perception visuelle ce qui lui échappe, et, ce faisant, de permettre une emprise possible sur ce qui est représenté. Mais ce parcours n'est qu'indicatif et les différences peuvent s'avérer nombreuses selon les domaines d'étude considérés et selon les objectifs visés ; les incursions dans chacune des directions d'imagerie peuvent être plus ou moins poussées. Ainsi, selon le thème abordé, il est possible que le travail d'observation soit réduit au profit d'un travail plus important de structuration ou représente au contraire l'essentiel des activités proposées aux élèves ; quant aux démarches de modélisation, peu de domaines s'y prêtent encore à l'école élémentaire (58), mais est-ce en raison des difficultés de l'approche ou du manque de supports appropriés ?

(56) Cf. P. Quéau (*Le virtuel*, op. cit., p. 174) : « Toute image est **synthétique**. On n'entend pas ici le mot de "synthèse" au sens de "génération par ordinateur", mais au sens de "corrélation". »

(57) Les niveaux de traitement cognitif du réel, qu'impliquent les images, ne doivent pas être confondus avec des étapes pédagogiques ; celles-ci peuvent, cependant, dans leur progression, les prendre en compte comme d'ailleurs cela se voit dans les illustrations de la plupart des manuels scolaires. Analysant l'imagerie didactique liée à la géologie, nous notons dans *Volcans et tremblements de terre* (1995) : « Une photographie vient généralement avant une vue en coupe, une carte de répartition des volcans avant une carte fléchée des mouvements des plaques tectoniques, une vue du fond des océans avant la schématisation du rift océanique. »

(58) Voir plusieurs exemples développés dans *Images, systèmes, modèles* (INRP, 1996, à paraître). Sur la question de la modélisation à l'école élémentaire, voir aussi : *Modèles et modélisation* (Aster, 7, 1988) ainsi que les deux ouvrages issus des travaux de l'équipe INRP/LIREST sur *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (INRP, 1992 et 1994).

7. CONCLUSION : LA MÉDIATION DES IMAGES ET DES ACTIVITÉS

7.1. Par la médiation des images, tisser des relations multiples

Ce parcours de connaissance, que suggèrent les différentes catégories d'images, de par les actes cognitifs qu'elles pré-supposent, est loin d'être linéaire et à sens unique. Connaître, en effet, n'est pas se détourner des apparences, mais en rendre compte, et donc toujours y revenir (59). Aussi, les images n'ont-elles pas pour fonction de nous éloigner du réel que nous percevons, mais de le comprendre tel qu'en lui-même, c'est-à-dire de le situer au **croisement des multiples représentations** qu'elles nous offrent, celles de l'invisible, de l'abstrait, du possible. Un modèle, s'il est autre chose qu'une métaphore, se confronte à l'expérience ; un concept s'éprouve dans des contextes particuliers ; ce qui échappe à la perception (l'infiniment grand, petit, rapide, lent, le rayonnement non visible...) a besoin d'être rapporté à nos propres échelles de référence, à notre propre "mesure". L'image alors fait aussi retour au réel ; par d'incessantes navettes, elle travaille à tisser des liens entre différents niveaux et différents registres de représentation : son rôle n'est pas tant de présenter que de connecter et de rassembler. Du point de vue de la construction des connaissances, la signification des images ne réside pas tant dans les informations qu'elles livrent que dans les **trajets cognitifs** qu'elles rendent possibles. Les différentes progressions d'apprentissage, que nous avons expérimentées dans les classes, mettent bien en évidence ce va-et-vient constant qu'assurent les images entre le connu et l'inconnu, l'ici et l'ailleurs, le présent et l'absent, le concret et l'abstrait, le phénomène et son modèle, la réalité et la fiction : l'analogie ne fonctionne pas seulement entre une image et son référent, mais d'une image à l'autre ; son rôle est de propager des schèmes d'intelligibilité. Une situation-image n'est que l'un de ces moments privilégiés, parmi d'autres, où des représentations entrent en résonnance, l'activité de l'élève consistant essentiellement en une "activation de représentations". Ainsi se construit peu à peu une intelligence du réel, par mise en correspondance et mise en réseau d'une multiplicité de représentations.

les images créent
des liens de
toutes sortes...

(59) Le parcours de connaissance, indiqué précédemment (figurer - schématiser - modéliser), implique justement, dans sa logique, de constants va-et-vient entre constructions de pensée et réalité empirique.

... équivalences
paradigmatiques...

Propagation dans le sens **paradigmatique**, mais propagation aussi dans le sens **syntagmatique** (60) : les activités auxquelles donnent lieu les images permettent de dégager des formes intelligibles, sous lesquelles par comparaison se rassemblent ou s'opposent les réalités représentées ; elles ont aussi pour visée de raccorder entre elles les représentations, de les articuler, de les agencer de manière à construire des ensembles, permettant ainsi de rétablir en pensée les continuités, les connexions, les cohérences que la perception des choses ne nous montre pas. Accorder et raccorder les représentations : double processus par lequel les représentations se relient les unes aux autres, par le jeu des "analogies" d'une part, par celui des "implications" d'autre part (61). Au travers des images s'opère un double travail :

... articulations
syntagmatiques

- travail de la similarité et de la différence, qui ouvre la voie aux généralisations conceptuelles, qui en provoque l'extension ou le remaniement ;
- travail des combinaisons et recombinaisons figurales, par le jeu desquelles se dégagent, d'un contexte à l'autre, des régularités, des équilibres, des invariances.

Tout à la fois l'image décline et conjugue, ordonne et coordonne, instaure des séries d'équivalences et des mises en système (62). "Faire image", c'est donner à comprendre par

(60) La terminologie "paradigme/syntagme" (L. Hjelmslev, A. Martinet) est devenue la plus courante pour distinguer ce que F. de Saussure appelait "*rappports associatifs*" et "*rappports syntagmatiques*". Issue de la linguistique, cette distinction, dont on sait la portée générale que lui a donnée R. Jakobson, est capitale pour analyser les "structures de représentation", qu'elles soient cognitives ou objectivées dans des systèmes sémiotiques. L'axe paradigmatique est celui des "substitutions" ou "sélections" (ou-ou) fondées sur la similarité (C. Metz parle plus justement de "comparabilité"), la dimension syntagmatique est celle des "combinaisons" ou "articulations" (et-et) fondée sur la contiguïté, c'est-à-dire la coprésence des éléments dans une configuration d'ensemble (ou dans une chaîne textuelle). La métaphore est une figure paradigmatique, la métonymie une figure syntagmatique : la première se fonde sur des rapports de ressemblance, la seconde sur des rapports de contiguïté, spatiale, temporelle ou causale. On peut expliquer un phénomène particulier par la loi générale à laquelle il obéit (paradigme), ou par ses causes immédiates (syntagme). Pour approfondir, se reporter notamment à C. Metz (1977).

(61) Dans *Images et construction de l'espace* (INRP, à paraître), nous nous référons à la notion piagétienne d'"*implications significantes*". Voir, en particulier, dans la conclusion, la partie 3 : "Niveaux d'image, niveaux de pensée".

(62) On peut rapprocher cette analyse de celle que développe J.-F. Vezin à propos des schémas : outre leur "*valeur de concrétude*", les schémas ont une "*valeur de généralité*" et une "*valeur synoptique*". La valeur de généralité correspond, pour nous, à une certaine position sur l'axe paradigmatique ; la valeur synoptique joue, quant à elle, sur la dimension syntagmatique par laquelle l'image donne à voir une simultanéité de relations. On sait qu'A. Moles (1981) discerne aussi, dans l'univers des schémas, deux dimensions fondamentales : leur degré d'abstraction (iconicité décroissante) et leur degré de complexité (nombre d'éléments en inter-relation).

le moyen d'une analogie ("voir comme..." disait L. Wittgenstein (63)), mais c'est aussi relier des éléments disjoints en une vue d'ensemble, les rassembler en un réseau d'implications réciproques ("voir ensemble...").

L'analyse des activités qu'impliquent les situations-images fait clairement apparaître ces deux sortes de mises en relation fondamentales : équivalences paradigmatiques et articulations syntagmatiques. À première vue, certaines situations assignent plutôt à l'élève des tâches de recherche ou de production d'équivalences : ainsi, les situations de comparaison multi-objet, de coordination multi-vision, d'appariement de données ou encore de traduction graphique. D'autres situations-images sont nettement orientées vers la construction et l'assemblage syntagmatique : ainsi, les situations d'organisation figurale, de conversion figurale, de modélisation graphique ou encore de développement graphique, quand il s'agit par exemple de compléter des schémas par des flèches. En fait, si l'on y regarde de plus près, toutes les situations-images comportent cette double dimension, qui consiste à circuler dans l'univers des représentations en en reliant les éléments selon un **principe de ressemblance** ou selon un **principe de connectivité**. Demander à l'élève un rappel graphique, ce n'est pas seulement l'inviter à restituer une équivalence figurative, c'est l'amener à faire un travail de réagencement interne des éléments rappelés. De même, une tâche de conversion figurale implique, à travers le réarrangement des éléments, la conservation d'invariants. Quelles que soient les activités qu'elles mettent en jeu, les situations-images sont, pour les élèves, productrices de séries indéfinies d'équivalences et révélatrices de nouvelles corrélations et solidarités entre les choses.

encore faut-il
que les élèves
actualisent
ces liens...

... au travers
d'activités
d'imagerie...

... qui leur
permettent de
travailler sur leurs
propres
représentations

D'une image à l'autre, entre images et textes ou au sein d'une même image, ces mises en relation ne sont pas à constater, mais à construire. Que les images soient données à lire, qu'il s'agisse de les assembler entre elles, qu'elles fassent l'objet de transformations ou qu'elles soient le produit d'une expression de l'élève, les activités ont toujours pour sens **d'effectuer ces mises en relation** auxquelles invitent les images, et, ce faisant, d'activer et de mettre en fonctionnement des représentations internes de la réalité. Les représentations mentales des élèves ne sont pas seulement mobilisées quand il s'agit d'en produire une expression graphique, mais dans tout acte de lecture et d'interprétation. Par le biais des images, les élèves travaillent sur leurs propres représentations du monde, c'est-à-dire justement sur ces liens — de correspondance et d'articulation, d'accord et de raccord — qu'ils établissent mentalement entre les choses. Les tâches qui portent sur les images ne portent donc ni sur le support matériel de ces images, ni même sur

(63) Cf. L. Wittgenstein, *Investigations philosophiques*, IIe partie (1953, trad. fr. Gallimard, 1972).

leurs référents empiriques, mais sur les conceptions du réel qui vont se trouver ainsi activées, interpellées, remises en jeu et retravaillées.

7.2. Par la médiation des activités, s'approprier les images

Si nous voulions résumer la thèse que nous avons défendue tout au long de ce travail, nous dirions qu'il est illusoire de croire en un lien direct entre images et acquisition de connaissances : ce lien ne s'établit que par l'intermédiaire des activités et des démarches de pensée que les images rendent possibles, compte tenu de la nature de ces images et des tâches fonctionnelles qui leur sont associées. Or, si les activités relatives aux images ont une signification par rapport à des apprentissages scientifiques, c'est qu'elles impliquent la mise en jeu et la manipulation de représentations internes, qui sont des constructions mentales du réel. Ainsi s'instaure, par le biais des activités, une confrontation dialectique entre les constructions symboliques propres aux images et les constructions mentales dont les élèves disposent : dialogue de l'image et de la pensée. La différence entre regarder des images sans plus et une tâche de sériation d'images est que celle-ci provoque à un plus haut degré l'activation et la mise à l'épreuve des liens et des trames de pensée au travers desquels les élèves se représentent les choses.

En ce sens, les images ne sont pas des moyens pour communiquer des connaissances, mais pour les élaborer au travers d'activités qui ont pour effet de solliciter et de remettre en cause les modèles mentaux déjà construits. Évoquons à grands traits, pour conclure, quelques-unes de leurs **fonctions élaboratives**. La fonction première des images est de servir de points d'application à des activités — activités d'observation, de mise en relation et de construction de sens, dont le propre est justement d'activer des représentations. Une autre fonction est de permettre aux élèves de manipuler des entités abstraites par le biais des figurations qui leur correspondent, comme le fait le géomètre à travers la figure qu'il trace : les images matérielles sont bien en ce sens des "supports" permettant d'objectiver, de mettre en visibilité, de placer sur le terrain de la perception et de la manipulation externe le jeu interne des représentations (64).

ce ne sont pas
les images qui
font apprendre
mais les activités
d'imagerie

l'image
activante...

...l'image
correspondante...

(64) Cette fonction "sensible" de l'image est régulièrement soulignée par les auteurs qui l'opposent à l'abstraction des concepts. Dans sa caractérisation des schémas, J.-F. Vezin parle de "*valeur de concrétude*" ou encore de "*valeur d'objectivation*", ce que A.-M. Drouin (1987) reprend sous l'expression "*pouvoir de concrétisation*". J.-F. Vezin distingue également entre le réalisme immédiat d'un schéma descriptif et le "pseudo-réalisme" par lequel le schéma habille une connaissance abstraite sous les apparences d'un objet concret ; dans le même sens, J.-P. Astolfi, Y. Ginsburger-Vogel et B. Peterfalvi (1988), puis J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi et A. Vérin

...l'image
questionnante...

...l'image
structurante

Les images, par les données ou configurations nouvelles qu'elles présentent, sont susceptibles de résister au pouvoir assimilateur des conceptions, de créer des "conflits cognitifs", sources possibles de remaniement et de restructuration : elles obligent, de proche en proche, à une rééquilibration des représentations, elles ont une fonction questionnante. Par les structures qui les caractérisent, enfin, les images invitent à une "mise en ordre graphique" des contenus de représentation (65) ; qu'il s'agisse de comprendre une coupe, une carte, un schéma d'électricité, ou qu'il s'agisse de les réaliser, toujours l'image impose à la pensée sa discipline, ses règles d'expression et d'organisation, son lexique des formes et sa syntaxe figurale.

Les activités relatives aux images ont pour signification, comme nous l'avons amplement souligné, de permettre aux élèves de se construire tout un répertoire diversifié de schémas de représentation ; grâce à ces instruments, il leur devient possible non seulement d'imaginer les choses en allant bien au-delà de ce qu'en donne à saisir la perception, mais de les organiser en pensée, de les concevoir, de les relier de multiples façons, de les anticiper, de les recombinaison. Ces activités visent essentiellement à leur permettre de **s'approprier les images** : ainsi pourraient-ils apprendre à s'en servir comme de véritables langages opératifs de la pensée, comme des instruments de manipulation et d'intégration des connaissances. Car les images inscrites sur des supports aussi bien que celles que nous portons dans la tête, risqueraient finalement, sans les activités qui les animent, de n'être que des illusions de centration, des effets déformants, comme le sont les perceptions sans les compensations d'une pensée opératoire.

Gérard MOTTET
Département "Technologies nouvelles
et éducation"
INRP

(1991) parlent "d'effets de concrétisation" en distinguant "réalisme premier" et "concrétisation secondaire".

- (65) Dans leur ouvrage *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales* (1991), J.-P. Astolfi, B. Peterfalvi et A. Vérin insistent sur le rôle structurant de l'écriture et des graphismes en général : « la mise en forme textuelle est souvent l'occasion, et même le support, d'une mise en forme d'ordre conceptuel ». Ainsi peut-on dire des langages graphiques qu'ils sont des outils de pensée. C'est la thèse que développe J. Goody, dans *La raison graphique* (1977), qui souligne combien la dimension spatio-visuelle de certaines structures de représentation contribue à la mise en ordre de la pensée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Communications, 15, L'analyse des images (1970).

Communications, 33, Apprendre des médias (1981).

Image et science (1985), Centre Georges-Pompidou, Herscher.

Cahiers Internationaux de Sociologie, vol LXXXII, Nouvelles images, nouveau réel (1987), PUF.

Le Courrier du CNRS, 66-67-68, Imageries scientifiques (1987), Éditions du CNRS.

Aster, 4, Communiquer les sciences (1987), INRP.

Cibles, 25, La schématisation (1991).

ASTOLFI J.-P. , GINSBURGER-VOGEL Y., PETERFALVI B., (1988), "Aspects de la schématisation en didactique des sciences". In *Bulletin de Psychologie*, 386, XLI, 13-16, p. 694-700.

ASTOLFI J.-P. , PETERFALVI B., VÉRIN A. (1991), *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, INRP.

BERTIN J. (1970), "La graphique". In *Communications*, 15.

BERTIN J. (1977), *La graphique et le traitement graphique de l'information*, Flammarion.

BRESSON F. (1981), "Compétence iconique, compétence linguistique". In *Communications*, 33.

BRESSON F. (1987), "Les fonctions de représentation et de communication". In *Psychologie* (Piaget, Mounoud, Bronckart), Gallimard, p. 933-982.

DAGOGNET F. (1973), *Écriture et iconographie*, Vrin.

DAGOGNET F. (1984), *Philosophie de l'image*, Vrin.

DENIS M. (1989), *Image et cognition*, PUF.

DROUIN A.-M. (1987), "Des images et des sciences". In *Aster*, 4, Communiquer les sciences, INRP.

DUVAL R. (1995), *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Peter Lang.

GIORDAN A., MARTINAND J.-L., éd. (1984), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques, Actes des 6èmes journées internationales sur l'éducation scientifique de Chamonix*, Université Paris VII.

- GIORDAN A., MARTINAND J.-L., éd. (1987), *Modèles et simulation, Actes des 9èmes journées internationales sur l'éducation scientifique de Chamonix*, Université Paris VII.
- GOODY J. (1979), *La raison graphique*, Seuil.
- JACOBI D. (1984), "Figures et figurabilité de la science dans des revues de vulgarisation". In *Langages*, 75, Larousse, p. 23-42.
- JACOBI D. (1987), *Textes et images de la vulgarisation scientifique*, Peter Lang.
- JACOBI D., VEZIN J.-F. (1988), "La communication par images". In *Bulletin de Psychologie*, 386, XLI, 13-16.
- JACQUINOT G. (1977), *Image et pédagogie*, PUF.
- JAKOBSON R. (1956), "Deux aspects du langage et deux types d'aphasies". In *Fundamentals of Language*, La Haye (Trad. in *Essais de Linguistique générale*, chap. II, Éditions de Minuit, 1963).
- LATOURE B., NOBLET J., éd. (1985), "Les vues de l'esprit". In *Culture technique*, 14, CRCT.
- LAUTREY J. (1987), *Structures et fonctionnements dans le développement cognitif*, Thèse d'état, Paris V.
- METZ C. (1977), "Métaphore / Métonymie, ou le référent imaginaire". In *Le signifiant imaginaire*, 10/18.
- MOLES A. (1981), *L'image, communication fonctionnelle*, Casterman.
- MOLES A. (1985), "Une approche fonctionnelle de l'image scientifique". In *Prospective et santé*, 33.
- MOTTET G. (1993), "Représentations imagées et traitement des connaissances. Images et connaissances scientifiques à l'école élémentaire". In *Technologies nouvelles et éducation. Le point sur les recherches achevées en 1991-1992*, INRP, p. 59-68.
- MOTTET G. (1993), "Images et démarches scientifiques, une orientation de recherche". In Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D., éd., *Science et technique en spectacle. Actes des 15èmes journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifique*, Université Paris VII.
- MOTTET G. (à paraître), *De la vulgarisation aux activités scientifiques. Un dessin animé à l'école*, INRP.
- MOTTET G. & al. (1994), "Des images pour apprendre les sciences. Approche de la diversité des rôles de l'image dans la construction des connaissances et des démarches scientifiques". *Actes du Colloque "Audiovisuel et formation des enseignants"*, INRP, p. 117-146.

MOTTET G. & al. (1995), *Volcans et tremblements de terre. Images descriptives, images explicatives*, INRP.

MOTTET G. & al. (à paraître) *Images et construction de l'espace. Apprendre la carte à l'école*, INRP.

MOTTET G. & al. (à paraître) *Images, systèmes, modèles. Approches figurales de la complexité*, INRP.

MOTTET G., MEIN M.-T., VUALA J., VIANEY F. (1995), "Des images pour apprendre les sciences. Images et activités à l'école". In *Confluences*, 5, Revue de l'IUFM de Lyon, p. 3-24.

MOTTET G. (1996), *Une typologie des situations-images*, INRP (document interne).

PETERFALVI B. (1988), "Outils graphiques, anticipation de la tâche, raisonnement". In *Aster*, 6, INRP, p. 47-90.

PETERFALVI B. (1991), "Construction de schémas par les élèves en classe de sciences". In *Cibles*, 25, *La schématisation*, ENNA Nantes.

PIAGET J., INHELDER B. (1969), "Les images mentales". In *Traité de Psychologie*, VII, PUF, *L'intelligence*, p. 71-116.

QUÉAU P. (1986), *Éloge de la simulation*, INA-Champ Vallon.

VERGNAUD G. (1987), "Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant", in *Psychologie*, Gallimard, p. 821-844.

VEZIN J.-F. (1984), "Apport informationnel des schémas dans l'apprentissage". In *Le travail humain*, 47, 1.

VEZIN J.-F. (1986), "Schématisation et acquisition des connaissances". In *Revue Française de Pédagogie*, 77, INRP.

VEZIN J.-F., VEZIN L. (1988), "Illustration, schématisation et activité interprétative". In *Bulletin de Psychologie*, 386, XLI, 13-16, p. 655-666.

WEILL-FASSINA A. (1982), "Représentation de données spatiales symbolisées : la lecture des intermédiaires graphiques en situation de travail et d'apprentissages professionnels". In *Psychologie Française*, 27, 3-4, p. 215-227.

WEILL-FASSINA A. (1988), "Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphismes techniques". In *Bulletin de Psychologie*, 386, XLI, 13-16, p. 645-653.

UTILISATION DE SCHÉMAS DANS L'APPRENTISSAGE DE LA BIOLOGIE À L'ÉCOLE : la reproduction humaine

Colette Gouanelle
Patricia Schneeberger

Dans le cadre d'une recherche de l'INRP, intitulée "Des images pour apprendre les sciences", nous nous sommes intéressées aux situations didactiques au cours desquelles des élèves sont placés face à des images et nous avons conduit des observations dans des classes de CM1 et CM2 (enfants de 9 à 11 ans). Nous utilisons ici les résultats obtenus dans une classe de CM1 lors de l'étude de la reproduction humaine.

Partant du principe que tout apprentissage conceptuel doit se traduire par une évolution favorable des conceptions des élèves, nous avons mis en place un dispositif permettant de suivre pas à pas les progrès des élèves pour savoir si les tâches réalisées autour des images les aident à mieux comprendre les phénomènes étudiés. Nous nous sommes en particulier attachées aux tâches qui consistent à lire et à élaborer différents schémas et nous avons essayé d'évaluer leur efficacité.

Les activités proposées aux élèves avaient également pour but de développer leur capacité à schématiser et nous avons essayé d'évaluer les progrès effectués dans ce domaine.

l'image
scientifique et
biomédicale
comme outil
d'enseignement

des images pour
faire évoluer
les conceptions
des élèves

Certains phénomènes étudiés par la biologie ne sont pas visibles directement ; pour les appréhender on doit avoir recours à des images obtenues grâce à des techniques souvent sophistiquées. C'est le cas des phénomènes liés à la reproduction humaine dont l'étude a progressé à l'aide de l'imagerie scientifique et biomédicale. Certaines des images ainsi produites sont utilisées dans les revues et les ouvrages de vulgarisation ou reprises dans des films documentaires. Ces mêmes images sont exploitées dans l'enseignement de la reproduction humaine à l'école élémentaire. L'utilisation de telles images pour faire apprendre paraît incontournable mais il nous a semblé qu'elle ne pouvait déboucher sur de véritables acquisitions conceptuelles qu'à certaines conditions.

Des enquêtes réalisées par plusieurs auteurs (Giordan, De Vecchi) auprès d'élèves ont fait apparaître la persistance de certaines conceptions erronées à propos de la fécondation et du développement embryonnaire. Nous nous sommes proposé d'essayer de faire évoluer ces conceptions chez des élèves de CM1 en utilisant des images susceptibles de remettre en question leurs modèles spontanés. Bien souvent ces images ne sont pas correctement appréhendées par les élèves si bien que certaines erreurs peuvent persister et

le schéma pour
apprendre /
apprendre le
schéma

semblent même parfois confortées par les images. Il convient donc de favoriser les apprentissages nécessaires pour que le recours aux images constitue véritablement une aide à la conceptualisation. C'est dans cette perspective que nous avons utilisé à plusieurs reprises des schémas dans le cadre de l'étude de la reproduction humaine.

Par ailleurs, la dimension pédagogique des schémas étant de plus en plus souvent exploitée dans l'enseignement, la maîtrise de ces outils graphiques est rendue indispensable. Une telle capacité nécessite un apprentissage qui peut être abordé dès l'école primaire, ainsi que tente de le montrer cette étude.

Le travail que nous décrivons ici se situe donc dans une dialectique **apprentissage de l'outil / outil d'apprentissage**. Il a été fait dans le cadre d'une recherche de l'INRP dirigée par Gérard Mottet et intitulée *Des images pour apprendre les sciences*.

1. NOS HYPOTHÈSES DE TRAVAIL ET NOS QUESTIONS

les images
peuvent être
source d'erreurs

En analysant les réflexions des élèves à propos de certaines images (photos ou film), on est conduit à constater que des images qui semblent parfaitement compréhensibles pour les spécialistes de l'enseignement de la biologie renferment en réalité une part d'implicite. Nous pensons que, de ce fait, elles peuvent être à l'origine ou au moins conforter certaines erreurs chez les élèves.

Dans quelle mesure cette part d'implicite peut-elle être réduite par un travail spécifique sur ces images et en particulier en proposant aux élèves des activités de schématisation ?

aborder
les images à
partir d'un
questionnement

À cause sans doute de leur caractère spectaculaire, certaines images sont données à voir dans les médias pour provoquer davantage la fascination du public que son information. Si ces images peuvent attirer l'attention des élèves, renforçant ainsi leur motivation pour l'étude de la reproduction humaine, cela ne suffit pas pour permettre l'apprentissage des concepts associés (de tels procédés peuvent même constituer des obstacles). Il nous semble en effet que, pour que les informations véhiculées par ces images soient réellement intégrées par les élèves, il est nécessaire que les élèves appréhendent ces images à partir d'un questionnement établi avec eux en tenant compte de leurs conceptions initiales. Cette hypothèse est-elle toujours vérifiée ? Comment procéder pour conduire les élèves à élaborer un questionnement qui serve véritablement de guide et d'aide à l'apprentissage ?

Dans l'enseignement de la biologie, on utilise souvent les schémas pour décrire ou expliquer certains phénomènes.

élaborer des
schémas pour
comprendre

Nous pensons que la traduction d'images complexes en schémas explicatifs devrait permettre une meilleure compréhension des phénomènes correspondants. C'est ce que nous avons cherché à vérifier en faisant réaliser de telles tâches à des élèves du cycle 3. De plus, nous avons essayé de repérer les compétences acquises à l'issue de ces activités.

Enfin, pour comprendre un phénomène, on est souvent conduit à envisager ses aspects évolutifs, et à en représenter les différentes étapes par un schéma de synthèse. En permettant d'établir des liens logiques entre différentes images, des schémas représentant la dynamique du phénomène étudié pourraient aider les élèves à lire correctement des images qui sont souvent présentées séparément. Cela suppose que les élèves réalisent eux-mêmes de tels schémas au cours d'activités proposées par l'enseignant. Nous nous sommes demandé si la réalisation de schémas de synthèse facilite ou non la compréhension de la reproduction humaine par des élèves du cycle 3. Afin de dégager quels apprentissages permet ce type d'activité, nous avons donc observé une séquence réalisée dans une classe de CM1 au cours de laquelle les élèves devaient représenter le développement embryonnaire par une frise chronologique.

2. DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE MIS EN PLACE

Avec l'aide de l'enseignante, D. Reynieix, nous avons élaboré et mis en place dans une classe de CM1 (enfants de 10 ans) une stratégie pédagogique ayant pour but de rendre le travail sur les images le plus efficace possible.

Notre intention était donc de faire en sorte que les images utilisées soient de véritables supports structurants de la pensée en vue d'une construction de savoir par les élèves. Pour cela, nous nous sommes efforcées de prendre en compte les conceptions initiales des élèves afin de construire des activités susceptibles de déclencher chez eux les remises en cause nécessaires.

2.1. Les séquences d'enseignement

Plusieurs séances de travail ont été proposées aux élèves, chacune durant de une à deux heures. L'ensemble s'est déroulé en six étapes successives.

1) L'enseignante a introduit le sujet en annonçant la naissance d'un bébé dans une famille et a demandé aux élèves de dire ce qu'ils savaient sur la formation et la vie du bébé avant la naissance.

Cette première phase visait en particulier à faire émerger les conceptions initiales des élèves sur la fécondation et certains aspects du développement et de la vie embryonnaire (test n° 1).

de l'émergence
des représentations
des élèves vers leur
remise en cause

2) Les élèves ont dû ensuite confronter leurs idées en comparant leurs réponses au sein de petits groupes. Puis une discussion en groupe classe a permis de dégager des hypothèses et des questions que l'enseignante a consignées sur des posters affichés au tableau (voir ci-dessous). Pour cela, l'enseignante a opéré une sélection, ne retenant, parmi les propositions des élèves, que celles qui lui paraissaient susceptibles de servir de guide au travail ultérieur.

Hypothèses et questions en rapport avec la fécondation

Hypothèses

- *Il faut un homme et une femme.*
- *Les spermatozoïdes, en forme de têtards, viennent de l'homme.*
- *Les spermatozoïdes essaient de pénétrer dans l'œuf : un seul rentre.*
- *Le spermatozoïde se transforme en œuf ou bébé.*
- *Il y a un ovule dans le ventre de la maman.*

Questions

- *D'où viennent les spermatozoïdes ?*
- *Quel est le rôle du spermatozoïde ?*
- *Qu'est-ce que l'ovule ?*
- *Qu'est-ce que la cellule ?*
- *Qu'est-ce que l'œuf ? D'où vient-il ? Comment est-il ?*

Hypothèses et questions en rapport avec la vie de l'embryon

Hypothèses

- *Il vit dans le ventre de la mère.*
- *Il vit dans une poche remplie de liquide.*
- *Il est nourri par un tuyau, le cordon ombilical.*
- *Il est relié à la mère par le cordon ombilical.*

Questions

- *Le cordon ombilical est-il creux ?*
- *Où est rattaché le cordon ombilical, sur la mère ?*
- *Comment les aliments arrivent-ils au bébé ? Par où ? Sous quelle forme ?*
- *Comment le bébé évolue dans le ventre de sa mère ?*
- *Quelle est la taille du bébé à l'issue du premier jour ?*

Notons que, volontairement, l'enseignante n'a pas cherché, à cette étape du travail, à corriger les erreurs des élèves ni à apporter des informations concernant des éléments non cités (le placenta par exemple).

À l'issue de cette deuxième phase, nous avons alors interrogé les élèves individuellement dans le but non seulement de mieux évaluer les conceptions des élèves (test n° 2) et de repérer un éventuel début d'évolution mais aussi de mesurer les capacités des élèves à lire des images et à les mettre

en relation entre elles ou avec un écrit. De plus, la tâche proposée devait permettre de répondre à certaines questions posées auparavant et retenues par la classe (tâche A, décrite en 3.1.).

3) Après avoir rappelé la liste des questions et hypothèses formulées par la classe (lors de la séance précédente), l'enseignante a fait réfléchir les élèves sur les moyens à mettre en œuvre pour aller plus loin (*"Comment faire pour savoir, pour vérifier ?"*). Les élèves ont pensé à l'utilisation de documents.

la lecture
des images
comme moyen
d'investigation

L'enseignante a proposé de regarder un film (*9 mois pour naître* de C. Edelmann) et a ensuite interrogé les élèves pour savoir comment ils avaient compris les différentes images et leur commentaire. Elle leur a demandé de répondre par écrit et de faire des dessins avec légendes et commentaires (tâche B).

4) L'enseignante a demandé aux élèves de comparer les dessins réalisés à partir du film et de rechercher les points qui faisaient l'objet de désaccords. À partir des échanges réalisés entre les élèves, l'enseignante a dressé avec eux une liste de questions et d'hypothèses qui restaient à travailler.

Questions et hypothèses retenues par la classe après avoir vu le film

- *Le liquide est-il directement dans le ventre ou dans une poche ?*
- *L'œuf se transforme en bébé.*
- *Le bébé vit-il dans l'œuf ?*
- *Dans le film, on parle de fusion. Qu'est-ce que ça veut dire ?*
- *Qu'est-ce que l'embryon ?*
- *L'embryon se transforme, il évolue en taille et en forme.*

L'enseignante a alors montré à nouveau certains passages du film, en particulier le début, pour mieux comprendre ce qui se passe lors de la fécondation et des premières divisions de l'œuf. En faisant des arrêts sur image, elle a explicité les étapes importantes des phénomènes observés (tâche C).

représenter par
des schémas
la formation
du bébé

5) Afin de consolider l'apprentissage, l'enseignante a ensuite proposé aux élèves un travail à partir de photos correspondant à ce qui est présenté dans le film. Après avoir reconnu et classé ces photos par ordre chronologique, les élèves devaient représenter les premières étapes de la formation du bébé sous forme de schémas.

Prévoyant que les élèves auraient quelques difficultés à réaliser de tels schémas, l'enseignante a présenté un schéma correspondant à la photo d'embryon de huit semaines et a invité les élèves à comparer les deux images afin d'analyser les processus utilisés lors de la traduction de la photo en schéma (simplification, suppression de certains détails, légendes...).

Elle les a ensuite engagés à réaliser des schémas correspondant aux autres photos en insistant sur la nécessité de respecter les formes, les proportions et la disposition des

organes représentés. L'ensemble des schémas réalisés devait permettre à chacun de construire une frise chronologique (tâche D).

6) La dernière séance fut consacrée à une phase de structuration, au cours de laquelle l'enseignante a voulu revenir sur certaines erreurs et relever quelques maladresses dans les représentations schématiques.

Les élèves ont repris les productions individuelles réalisées lors de la séance précédente et, en travaillant par petits groupes, ils les ont comparés. L'enseignante leur a alors demandé de se mettre d'accord et de produire une nouvelle frise (en plus grand) sur un poster.

L'enseignante a ensuite affiché au tableau les frises produites dans les différents groupes et a apporté quelques éléments de correction.

2.2. Évaluation des progrès des élèves

Les tâches proposées aux élèves à partir des images avaient pour fonction, d'une part de favoriser l'évolution des représentations des élèves à propos de la reproduction humaine, d'autre part de permettre l'apprentissage de compétences transférables pour ce qui concerne la lecture et la production de schémas. C'est pourquoi l'évaluation des acquisitions des élèves a porté tant sur le domaine des savoirs que sur les compétences relatives à la schématisation.

évaluer
la capacité
à réaliser
des schémas

Nous avons ainsi tenté, au cours de l'étude effectuée sur la reproduction humaine, d'une part de suivre l'évolution des conceptions des élèves, et d'autre part d'évaluer à plusieurs reprises leur capacité à réaliser des schémas afin de faire apparaître des progrès éventuels. Pour cela, nous avons analysé les productions des élèves, réalisées à l'occasion des différentes tâches effectuées, et nous avons proposé des épreuves complémentaires (tâche E avec tests n° 4 et n° 5, tâche F). Notons que ces élèves avaient déjà réalisé des schémas dans le cadre d'activités de technologie ; le concept de schéma ne leur était donc pas complètement étranger au départ. Cependant il restait à élargir le champ d'application de cet outil graphique pour l'étendre à l'étude de sujets relevant d'un autre domaine disciplinaire.

3. LE TRAVAIL SUR LES IMAGES

Au cours des séances de travail décrites ci-dessus, nous avons mentionné plusieurs tâches différentes autour des images. Quelle était précisément la nature de ces tâches et quelle était leur fonction ?

3.1. Fonctions des tâches proposées

- La **tâche A** porte sur l'analyse d'un document comprenant une photo de fécondation et son interprétation (doc. 1 extrait d'un ouvrage scolaire).

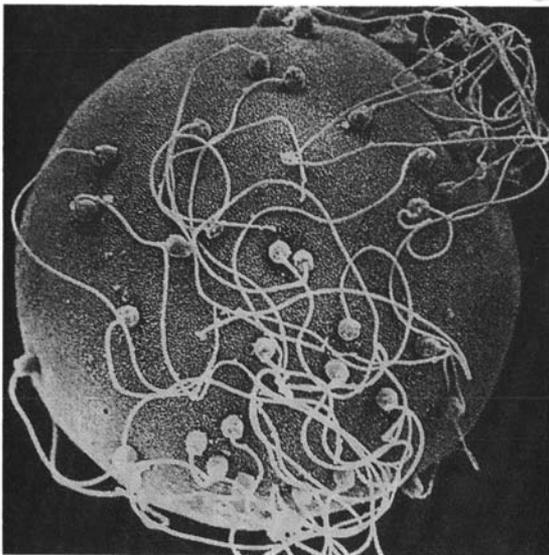
Dans un premier temps, les élèves sont invités à décrire et interpréter la photo. Pour cela, ils peuvent éventuellement avoir recours au schéma correspondant et aux textes d'accompagnement. Dans un deuxième temps, lorsque les élèves ne parviennent pas seuls à réaliser la tâche demandée, on les guide par des questions.

apprendre à lire
une image

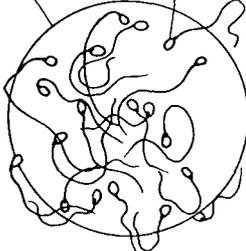
Cette tâche a pour but de permettre aux élèves d'appréhender la notion de fécondation tout en apprenant à lire une image.

Document 1. Document à analyser au cours de la tâche A

2 Dans tous les cas, une fécondation



ovule spermatozoïde



**1 ovule
+ 1 spermatozoïde
= 1 œuf**

**1 œuf → 1 nouvel
être vivant**

Extrait de *Biologie - Cahier d'activités CM*. Collection Tavernier, Bordas, 1990.

- La **tâche B** a pour but d'apprendre à sélectionner des informations à partir d'images animées (film) et en fonction de questions posées auparavant. Elle doit aussi permettre d'appréhender les différentes étapes de la fécondation et du développement embryonnaire.

Après avoir regardé le film de C. Edelman, les élèves devaient répondre par écrit à une première question : "Que nous a-t-on montré dans ce film ?" puis à une deuxième : "Dans le film, on parle d'œuf ; explique ce que c'est qu'un œuf, comment il se forme et ce qu'il devient."

mettre en place
des activités en
partant d'un film

Pour répondre à cette deuxième question, les élèves devaient réaliser des dessins que nous avons ensuite analysés afin de mesurer l'évolution de leurs conceptions (test n° 3).

Le film utilisé (*9 mois pour naître* de C. Edelmann) présente successivement la ponte ovulaire, le déplacement des spermatozoïdes et la fusion entre un ovule et un spermatozoïde ; suivent des images de division de l'œuf et de développement embryonnaire. Des explications sont fournies et illustrées par des images en ce qui concerne les fonctions en activité au fur et à mesure de l'évolution de l'embryon. Enfin le film se termine par un accouchement.

- La **tâche C** consiste en une deuxième lecture des premières séquences du film avec quelques arrêts sur images accompagnés d'explications par la maîtresse.

Elle a pour but d'apprendre à traduire des images en langage verbal et d'aider à comprendre le déroulement des phénomènes liés à la fécondation et au développement embryonnaire.

- La **tâche D** a pour but d'apprendre à produire des schémas explicatifs en reliant des informations provenant de photos et en traduisant ces photos en schémas ; elle devrait aussi servir à comprendre les transformations qui se réalisent lors de la fécondation et du développement embryonnaire.

Pour faire ce travail, les enfants ont à leur disposition : une photo de fécondation, des photos de cellule en division, des photos d'embryons de trois semaines, trente jours et huit semaines, un schéma d'embryon de huit semaines.

Les élèves ont à comparer les photos et, après les avoir ordonnées, à réaliser une frise chronologique.

- La **tâche E** (tests n° 4 et 5) a pour but d'évaluer les acquisitions des élèves : évolution des conceptions initiales et capacité à s'exprimer par le schéma.

Les élèves ont à expliquer ce qu'est un œuf à l'aide de schémas ; ils doivent également remplir un questionnaire à choix multiple comportant des propositions variées à propos de la fécondation et du développement embryonnaire (doc. 2). Tout en essayant de réduire les difficultés relatives à l'écrit, nous étions conscientes que ce type d'épreuve était susceptible de poser des problèmes à certains élèves, le risque étant que certaines réponses soient données au hasard.

- La **tâche F** a pour but d'évaluer les capacités des élèves à traduire des photos en schémas ; elle doit aussi permettre d'évaluer les capacités à relier des images à un phénomène étudié antérieurement.

Pour cela, on propose aux élèves de faire des schémas à partir de photos de divisions de l'œuf et d'indiquer où se situent les phénomènes correspondants par rapport à l'ensemble de la reproduction (doc. 3).

évaluer
les acquisitions
des élèves

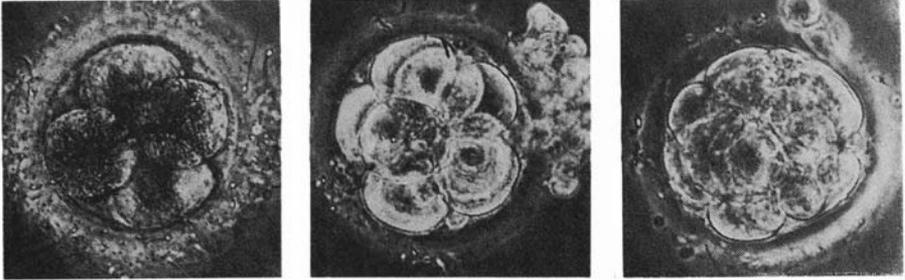
Document 2. Questionnaire à choix multiple donné au cours de la tâche E.

Écris V en face des propositions qui sont vraies et F en face de celles qui sont fausses

L'ovule est une poche dans laquelle vit le bébé	<input type="checkbox"/>
L'ovule est une cellule	<input type="checkbox"/>
C'est l'ovule tout seul qui devient le bébé	<input type="checkbox"/>
C'est le spermatozoïde qui devient le bébé	<input type="checkbox"/>
C'est l'œuf tout entier qui se transforme en bébé	<input type="checkbox"/>
C'est l'intérieur de l'œuf qui se transforme en bébé	<input type="checkbox"/>
L'œuf est une poche dans laquelle vit le bébé	<input type="checkbox"/>
L'œuf se forme à partir du spermatozoïde tout seul	<input type="checkbox"/>
L'œuf se forme à partir de l'ovule tout seul	<input type="checkbox"/>
L'œuf se forme lors de la rencontre d'un ovule et d'un spermatozoïde	<input type="checkbox"/>
L'œuf se forme quand un spermatozoïde pénètre dans un ovule	<input type="checkbox"/>
L'union d'un ovule et d'un spermatozoïde donne un œuf	<input type="checkbox"/>
L'œuf se forme quand plusieurs spermatozoïdes pénètrent dans un ovule	<input type="checkbox"/>
La fécondation, c'est ce qu'il se passe lors de l'union d'un ovule et d'un spermatozoïde	<input type="checkbox"/>
La fécondation, c'est l'union d'un spermatozoïde et d'un œuf	<input type="checkbox"/>
L'œuf est une cellule	<input type="checkbox"/>
L'œuf est une poche remplie de liquide amniotique	<input type="checkbox"/>
Le bébé a déjà sa forme définitive dès le premier jour	<input type="checkbox"/>
La poche remplie de liquide se forme, à partir de l'œuf en même temps que le bébé	<input type="checkbox"/>
L'œuf commence par se diviser et former un amas de cellules	<input type="checkbox"/>

Document 3. Épreuve donnée au cours de la tâche F

Ces photos ont été réalisées au cours d'une étude sur la reproduction humaine (observations faites au microscope). (*Pour la science*, n° 22, août 1979).



1° Observe ces photos. Que montrent-elles ?

.....
.....

2° Fais des schémas correspondant à ces photos (un schéma par photo)
Pour chaque schéma, tu mettras des légendes et un titre.

3° À quelle étape de la reproduction correspondent-elles ?

.....
.....

Indique tout ce qui s'est passé avant cette étape.

.....
.....
.....

Indique ce qui va se passer après cette étape.

.....
.....
.....

3.2. Analyse des tâches proposées

Dans le tableau ci-dessous, nous décrivons les tâches successives en répertoriant les opérations à mettre en œuvre pour les réaliser.

Tâches	Activités proposées	Opérations impliquées (en relation avec les images et leur analyse)
A (Doc. 1)	Décrire et interpréter une photo de fécondation présentée dans un contexte graphique et textuel.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en correspondance une image avec un schéma. - Mettre en relation une image avec des connaissances. - Traduire en langage verbal.
	Comprendre l'ensemble du document à l'aide des paratextes.	Mettre en relation des images et des textes associés.
B	Visionner un film, dégager des informations et formuler des réponses écrites à des questions formulées antérieurement.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en correspondance des images et des informations verbales. - Suivre la chronologie des transformations. - Repérer les localisations des phénomènes et les relations entre éléments. - Repérer et comparer les échelles. - Réorganiser les informations en vue de les présenter sous forme de schémas légendés et de textes.
C	Compléter ses explications à l'aide du film et d'arrêts sur images.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en relation l'image avec le processus en cours d'explication. - Construire une nouvelle représentation du processus.
D	Mettre en ordre des photos (fécondation et développement embryonnaire) après avoir identifié les phénomènes correspondants.	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les images et identifier les phénomènes représentés. - Comprendre leurs relations dans le temps.
	Construire une frise chronologique.	Traduire par un schéma de synthèse.
E (Doc. 2)	Exprimer sous forme de schémas et de texte, ses connaissances sur la fécondation et le devenir de l'œuf.	Réorganiser ses connaissances en vue de les présenter sous forme de schémas explicatifs.
F (Doc. 3)	Reconnaître un phénomène présenté sous forme de photos.	Identifier un événement appartenant à un processus étudié.
	Faire les schémas correspondants.	Traduire par des schémas.

4. L'ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES

Afin de suivre l'évolution des conceptions des élèves, nous avons procédé à une série de tests successifs, puis nous en avons analysé les résultats.

4.1. Une succession de tests

Dès le départ et tout au long des séances de travail qui ont été organisées dans cette classe de CM, des tests individuels ont été effectués (voir tableau ci-après).

Test n° 1 (première étape du déroulement décrit en 2.1.). Les élèves devaient répondre par écrit aux questions suivantes :

Que sais-tu sur le début de la formation du bébé (le tout premier jour) ?

Où et comment vit le bébé jusqu'à la naissance ?

Nous avons ensuite demandé à certains élèves de préciser leurs réponses, lors d'un entretien individuel, lorsque nous avons des difficultés pour déceler leurs conceptions à partir de leurs écrits.

Test n° 2. Il se confond avec la tâche A (deuxième étape) au cours de laquelle nous avons interrogé un par un les élèves en leur demandant de décrire et d'expliquer le phénomène (la fécondation) qui leur était présenté par un document.

Les réponses des élèves étaient notées par l'interrogateur en vue d'être analysées.

Test n° 3. À l'occasion de la tâche B (troisième étape) proposée après avoir montré le film de C. Edelmann, les élèves devaient réaliser des dessins pour représenter la formation et l'évolution de l'œuf. L'analyse de ces productions constitue un moyen de mesurer l'effet du film sur l'évolution des conceptions des élèves.

Test n° 4. Il s'agit d'un exercice d'évaluation destiné à repérer l'efficacité des activités proposées aux élèves en mesurant les progrès des élèves dans l'acquisition des notions ayant fait l'objet d'un apprentissage. Dans une première partie, les élèves devaient répondre à des questions ouvertes et produire des schémas légendés. Dans une deuxième partie, ils devaient juger des propositions et indiquer V pour vrai, F pour faux dans chaque case (doc. 2).

C'est en croisant les réponses des élèves aux différentes questions qu'on peut apprécier si les élèves ont progressé dans la compréhension des phénomènes étudiés.

Test n° 5. Plusieurs semaines après le test n° 4, nous avons proposé la même épreuve (exactement) aux élèves afin de repérer dans quelle mesure les apprentissages réalisés pouvaient être considérés comme stables.

certaines tâches
ont donné lieu
à des tests

Tests et objectifs	Activités proposées et tâches en relation avec les images
<p>Test n° 1 Connaître les conceptions initiales des élèves.</p>	<p>Répondre par écrit (textes et dessins) à des questions concernant la formation du bébé et la vie intra-utérine.</p>
<p>Test n° 2 Connaître les stratégies de lecture d'une photo véhiculant des informations. Faire émerger les conceptions sur la fécondation non encore exprimées lors du test précédent. Repérer un début d'évolution des conceptions déjà exprimées auparavant.</p>	<p>Tâche A Décrire une photo (de fécondation) et dire ce qu'elle représente (doc. 1). Expliciter sa stratégie de lecture (appui sur le schéma correspondant ou/et utilisation de connaissances antérieures).</p>
<p>Test n° 3 Évaluer les capacités des élèves à saisir des informations véhiculées par un film. Mesurer l'évolution des conceptions des élèves.</p>	<p>Tâche B Visionner le film en vue de trouver des éléments de réponse à des questions formulées antérieurement. Répondre par écrit (textes et schémas) à des questions posées par le maître.</p>
	<p>Tâche C Compléter ses explications à l'aide du film et d'arrêts sur images.</p>
<p>Évaluer les capacités des élèves à interpréter et ordonner des images puis à traduire l'ensemble sous forme d'un schéma de synthèse.</p>	<p>Tâche D Observer et analyser des photos montrant différents stades de l'embryogenèse puis les ordonner chronologiquement. Comparer une photo de fœtus au schéma correspondant. Réaliser une frise présentant schématiquement les étapes de la transformation de l'œuf au fœtus.</p>
<p>Tests n° 4 et 5 (post-tests identiques espacés de 2 semaines) Évaluer les acquisitions des élèves : évolution des conceptions initiales et capacité à s'exprimer par des schémas.</p>	<p>Tâche E Expliquer ce qu'est un œuf à l'aide de schémas. Remplir un formulaire en choisissant, parmi des propositions variées sur la fécondation et le développement embryonnaire, celles qui paraissent justes (doc. 2).</p>
<p>Évaluer les compétences en schématisation.</p>	<p>Tâche F Reconnaître des photos de division d'un œuf et les situer dans le temps par rapport à la fécondation et au développement embryonnaire. Réaliser le schéma correspondant (doc. 3).</p>

4.2. Différents degrés dans l'évolution des conceptions

Pour faciliter nos observations, nous avons distingué, tant pour la fécondation que pour le développement embryonnaire, différents degrés dans l'évolution des conceptions des élèves, chacun correspondant à un état d'organisation cognitive.

suivre les progrès
des élèves

Les degrés 0 et 1 correspondent à des conceptions pauvres ou erronées tandis que les degrés 3 et 4 peuvent constituer chacun des niveaux de formulation du concept désigné. Le degré 2 désigne, quant à lui, une sorte de stade intermédiaire où coexistent des conceptions différentes.

Fécondation

- degré 0 : pas de réponse précise à la question portant sur l'étape initiale de la formation du bébé ;
- degré 1 : le terme de graine ou d'œuf est utilisé pour désigner l'ovule ou le spermatozoïde ;
- degré 2 : deux conceptions coexistent ; l'œuf désigne tantôt ce qui résulte de la rencontre entre l'ovule et le spermatozoïde, tantôt l'ovule ou le spermatozoïde ;
- degré 3 : l'œuf est ce qui résulte de l'addition d'un ovule et d'un spermatozoïde ; il est parfois indiqué qu'il y a pénétration du spermatozoïde dans l'ovule mais il n'est pas fait mention de modifications des structures cellulaires ;
- degré 4 : l'œuf est une nouvelle entité résultant de l'union entre un ovule et un spermatozoïde.

Développement embryonnaire

- degré 0 : il est simplement indiqué que le bébé se développe dans le ventre de sa mère ;
- degré 1 : le bébé se développe dans l'ovule ou dans l'œuf ;
- degré 2 : l'œuf donne le bébé mais en même temps le bébé se développe à l'intérieur ; selon cette conception, ce ne serait donc pas l'œuf tout entier qui se développerait ;
- degré 3 : l'œuf tout entier donne un bébé ;
- degré 4 : l'œuf donne un bébé et d'autres choses (la poche amniotique par exemple).

Avant de déterminer ces différents degrés, nous avons d'abord analysé et comparé les réponses des élèves aux premiers tests et il nous a semblé que nous pouvions établir une telle hiérarchie sans qu'il y ait *a priori* un passage obligé par tous ces stades successifs pour tous les élèves. Par la suite, nous avons conservé ce mode de classement et nous avons construit, pour chaque élève, un diagramme permettant de situer ses progrès d'un test à l'autre.

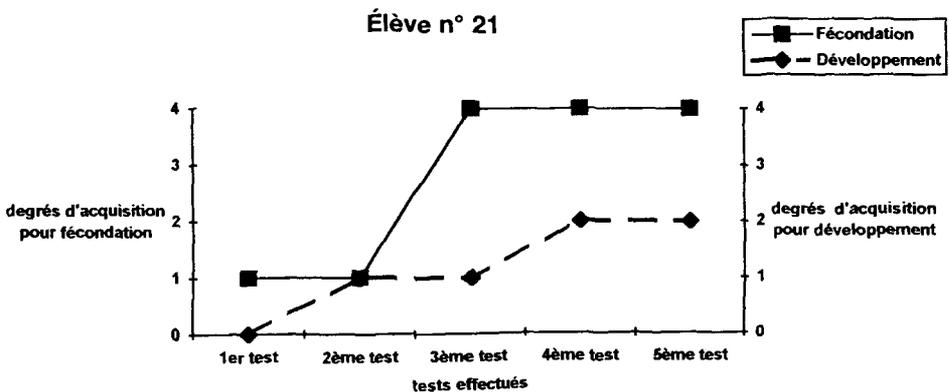
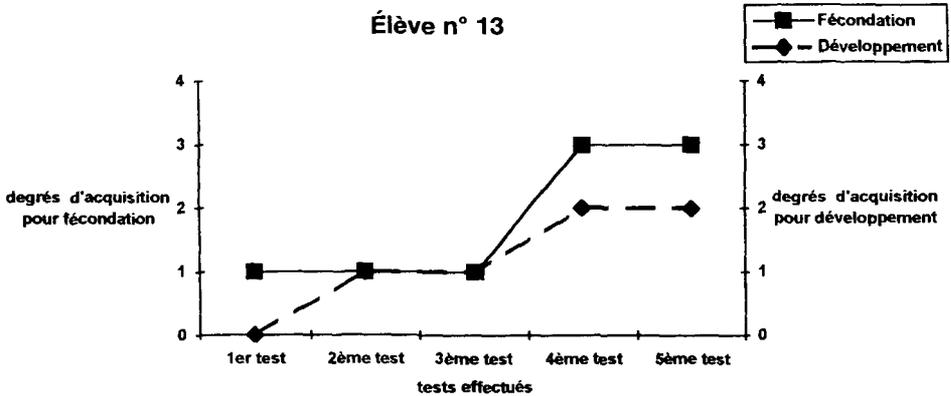
4.3. Les profils des élèves

À l'issue du test n° 5, il apparaît que, sur les 23 élèves de cette classe de CM, 16 ont progressé au moins en ce qui concerne la fécondation et 10 élèves ont progressé dans les deux domaines. Seulement 7 élèves ne semblent pas avoir fait de progrès significatifs.

Nombre d'élèves	Degré atteint pour la fécondation	Degré atteint pour le développement embryonnaire
5	3	3
5	4	3 (ou 2)
6	3	2 (au plus)

Tous les élèves qui ont progressé dans l'apprentissage des notions abordées n'ont pas eu le même itinéraire. Certains ont progressé très tôt, d'autre un peu plus tard. Les différents diagrammes ont permis de comparer l'évolution des élèves et de mieux apprécier l'efficacité des tâches effectuées. Le document 4 présente deux de ces diagrammes.

Document 4. Deux exemples de diagrammes d'élèves



5. L'EFFICACITÉ DU TRAVAIL SUR LES IMAGES

Il est possible que les différences constatées dans les progrès des élèves tiennent aux activités proposées, plus ou moins efficaces selon les élèves.

5.1. Rôle des images dans l'apprentissage conceptuel

En comparant les résultats de chaque élève aux tests successifs, nous avons essayé de déterminer dans quelle mesure les images pouvaient être sources d'apprentissage. Dans cette perspective, nous avons utilisé les différents degrés de notre échelle pour évaluer les progrès des élèves après chaque situation demandant un travail sur une ou plusieurs images.

• *Effet de la lecture de la photo de fécondation*

des progrès dès
la première
tâche

Les résultats au test n° 2 montrent déjà un début d'évolution des conceptions pour certains élèves (21 élèves ont été interrogés). Rappelons que les élèves devaient décrire et expliquer le phénomène de fécondation en se servant d'une photo accompagnée d'un schéma et de textes (doc. 1).

Pour la fécondation, 9 élèves ont progressé (3 élèves ont atteint le degré 2, 6 élèves ont atteint le degré 3 de notre échelle) ; l'un d'eux a régressé par la suite.

Ces résultats sont assez surprenants car la lecture de la photo présentée n'apporte pas en soi d'informations sur ce qui se passe aussitôt après la rencontre entre ovule et spermatozoïdes.

Pour le développement embryonnaire, 5 élèves seulement ont progressé, passant du degré 0 ou 1 au degré 2 (pour 3 d'entre eux) ou au degré 3 (pour les 2 autres).

Toutefois, il est difficile d'affirmer que cette activité a permis de faire progresser les élèves puisque la seule information sur le développement de l'œuf que comporte le document analysé est la mention "1 œuf → nouvel être vivant".

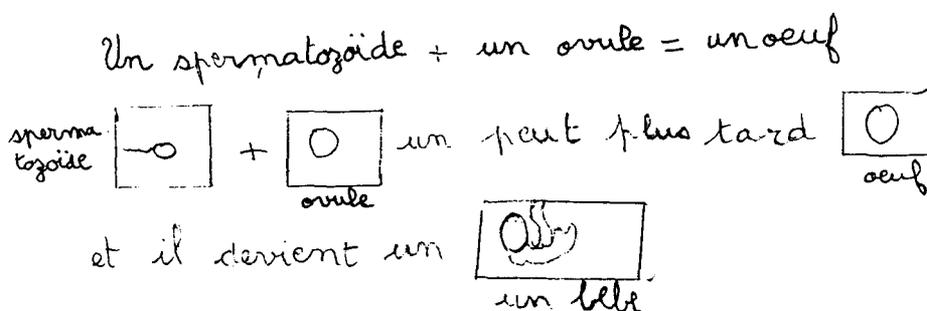
On peut se demander ce qui a permis aux élèves de progresser : est-ce grâce à cette image ? Quel rôle a-t-elle pu jouer ? En interrogeant les élèves sur l'origine de leurs informations, nous sommes aperçues que, parmi les 9 élèves qui ont progressé après la lecture de cette photo, 6 affirment avoir déjà des connaissances sur le sujet : ils se rappellent avoir vu des films ou lu des ouvrages de vulgarisation qui traitaient la question de la reproduction chez l'Homme. Nous pensons que si ces connaissances ne sont pas apparues à l'occasion du premier test (destiné à révéler les représentations initiales des élèves), elles ont pu resurgir lorsque les élèves ont confronté entre eux leurs idées ou elles ont pu être mobilisées à la faveur de l'observation de la photo qui permettait de visualiser le phénomène.

• **Impact du film**

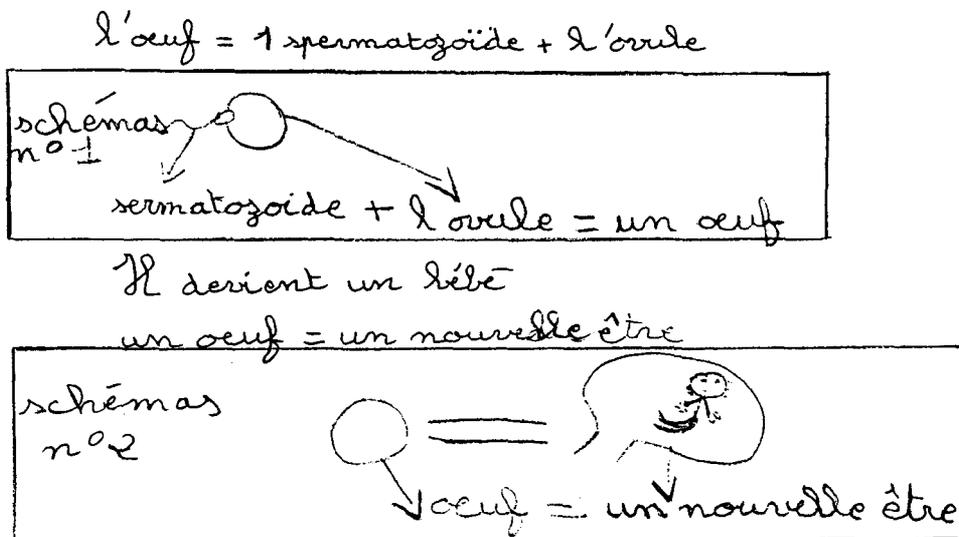
Les résultats au test n° 3 montrent que, après avoir regardé le film une première fois, plusieurs élèves ont progressé, l'évolution de leurs conceptions débutant pour certains, progressant pour d'autres (voir doc. 5).

**Document 5. Exemples de réponses au test n° 3
après premier visionnement du film 9 mois pour naître (tâche B)**

Exemple 1



Exemple 2



Pour la fécondation, 8 élèves ont progressé, atteignant le degré 3 ou 4 pour 7 d'entre eux.

Pour le développement embryonnaire, 2 élèves ont effectué un progrès déjà amorcé auparavant, tandis que 8 élèves ont commencé à progresser après avoir vu le film une première

le rôle des
images dans
l'apprentissage

fois en partant du degré 0 ou 1 (3 ont atteint le degré 2 et 4 ont atteint le degré 3 ou 4).

Il semble donc que le film ait permis à certains élèves de progresser. Toutefois, il n'est pas certain que le film à lui seul ait eu un effet sur l'apprentissage ; il est possible, en effet, que l'interview réalisé à l'occasion du test n° 2 ait aidé l'élève à progresser en lui permettant d'intégrer certaines informations. De plus, dans la mesure où certains des élèves qui ont progressé après avoir vu le film avaient déjà eu l'occasion de se documenter sur ce sujet, on peut se demander si le film a réellement permis de faire évoluer leurs conceptions ou s'il n'a pas seulement déclenché un processus de mobilisation de connaissances déjà acquises antérieurement.

• *Effet du travail sur la série de photos*

Rappelons que ce travail (tâche D) consistait à reconnaître des photos, à les remettre en ordre chronologique et à effectuer une frise chronologique représentant les premières étapes de la formation du bébé.

Pour la fécondation, 2 élèves ont commencé à progresser seulement après la réalisation de la frise chronologique. Quant aux autres élèves, 8 d'entre eux sont restés au degré 3 ou 4 tandis que 3 élèves ont continué à progresser.

Pour le développement embryonnaire : les résultats du test n° 4 montrent que 8 élèves ont commencé à progresser après le travail réalisé sur la série de photos. Cependant, 6 d'entre eux ne dépassent pas le degré 2. Un autre élève poursuit ses progrès et atteint le degré 4.

La tâche qui était proposée, qui consistait à identifier des photos, à les ordonner, à schématiser les étapes correspondantes, était sans doute la mieux à même d'apporter des informations aux élèves. En effet, les images présentaient l'avantage de pouvoir être manipulées par les élèves et facilement comparées. Toutefois il est probable que le travail demandé aux élèves présentait un niveau de difficulté qui dépassait les capacités d'un bon nombre d'entre eux si bien qu'ils n'ont pas pu réellement progresser. Les photos elles-mêmes étaient difficiles à analyser et à mettre en relation du fait des changements d'échelle et de l'absence de certains éléments lorsque l'embryon est présenté isolé.

prendre en
compte les
difficultés du
travail demandé

Notons que pour 7 élèves, aucune des activités proposées ne s'est révélée efficace : elles n'ont pas permis à ces élèves de dépasser leurs difficultés, elles ne les ont pas aidés à appréhender les phénomènes étudiés.

5.2. L'apprentissage de la schématisation

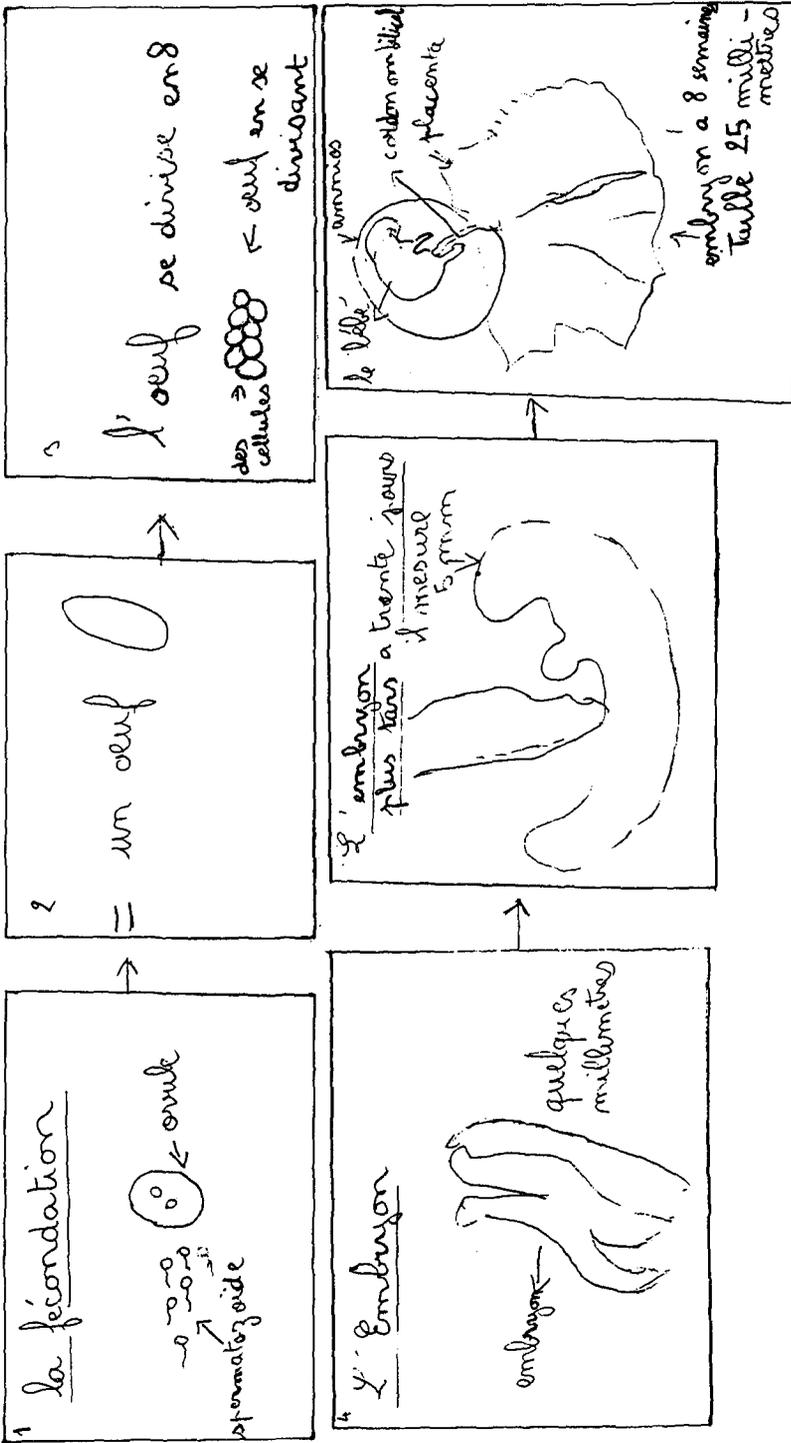
Parmi les tâches demandées aux élèves, plusieurs consistent à réaliser des dessins ou des schémas. Au départ, nous n'avons pas insisté auprès des élèves sur la différence entre dessin et schéma bien que tous deux ne relèvent pas du

même degré d'abstraction. Nous avons considéré que la production de dessins pouvait constituer une sorte d'étape nécessaire dans l'apprentissage de la schématisation. Notre intention était d'utiliser le schéma comme outil pour analyser les images de façon plus objective à la fois comme aide pour comprendre une photo ou comme guide pour élaborer des constructions graphiques plus représentatives du réel. On peut se demander toutefois quel stade d'abstraction, des enfants de cet âge peuvent atteindre dans leurs réalisations graphiques.

des progrès dans
les réalisations
graphiques des
élèves

Tout au long des observations réalisées dans cette classe, nous avons pu constater des progrès constants dans les réalisations graphiques des élèves. Lors du test n° 1 qui visait à faire émerger les conceptions initiales des élèves, 11 élèves (sur les 23 qui ont répondu) se sont aidés de dessins pour exprimer leurs idées. Pour 2 d'entre eux, il s'agit de dessins purement imaginaires tandis que les productions des 9 autres donnent à penser qu'ils ont déjà vu des images sur les phénomènes liés à la reproduction humaine (certains par exemple ont dessiné des spermatozoïdes). Il semblerait donc que le dessin soit pour ces élèves-là déjà un moyen d'expression auquel ils recourent volontiers. Plus tard, lors du test n° 3 (réalisé après le film), 20 élèves ont utilisé des dessins ou schémas pour expliquer les phénomènes décrits dans le film. On pourrait considérer que ce moyen d'expression est devenu plus familier aux enfants. On peut expliquer cette évolution en considérant que les élèves avaient sans doute davantage d'informations à communiquer que lors du test n° 1. De plus, il leur était sans doute plus facile de traduire en schémas les informations qu'ils venaient de recevoir sous forme d'images.

La réalisation de la frise chronologique (tâche D) représentant la formation de l'œuf et les premières étapes de son évolution a certainement permis aux élèves de progresser dans l'apprentissage de la schématisation : ils se sont exercés à la traduction d'une série de photos en un schéma d'ensemble (frise chronologique) et la plupart ont réussi à effectuer cette tâche, certains de façon tout à fait satisfaisante (doc. 6).

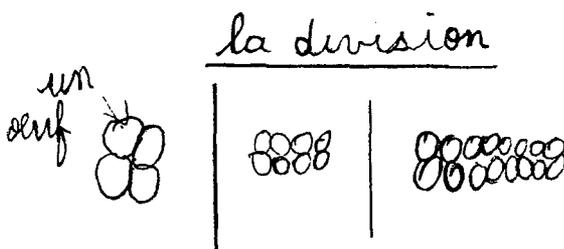


Document 6. Un exemple de frise chronologique réalisée au cours de la tâche D

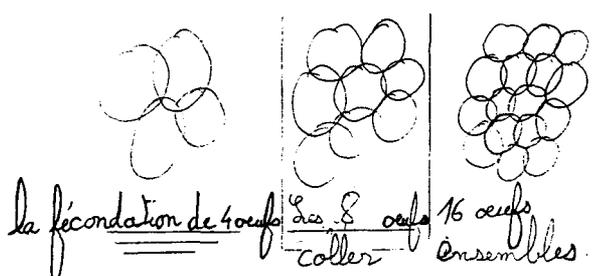
Lors des épreuves d'évaluation (tests n° 4 et n° 5), les élèves devaient produire à nouveau des schémas et nous avons constaté que les résultats étaient plutôt positifs quant à leur aptitude à schématiser même si les productions étaient souvent incomplètes. Avec la deuxième épreuve d'évaluation (tâche F), où l'on demandait de traduire des photos en schémas (doc. 7), nous nous sommes aperçues que plus de la moitié des élèves (14 sur les 23) produisaient des schémas qui ne correspondaient pas exactement à ce qui était donné à observer : par exemple, la disposition des cellules n'était pas respectée. Seulement 9 élèves avaient mieux respecté la réalité, ils semblent avoir observé la photo avec plus de précision. Toutefois, quelle que soit leur façon d'appréhender l'image, tous les élèves ou presque ont su dire de quel phénomène il s'agissait et expliquer par leurs schémas à quoi il correspondait (division de la cellule-œuf se traduisant par une augmentation du nombre de cellules).

Document 7. Deux exemples de réponses à l'épreuve d'évaluation de la tâche F (doc. 3, question 2°)

Exemple 1



Exemple 2



des productions schématiques difficiles à interpréter

À l'issue des situations d'apprentissage proposées aux élèves, il est encore difficile d'évaluer les progrès réalisés par les élèves ; il est sûr que certains d'entre eux ont encore beaucoup de difficultés mais, à travers les résultats observés, on peut dire que les autres ont amélioré leurs perfor-

mances en ce sens qu'ils réalisent plus facilement des schémas. Cependant, pour beaucoup d'élèves, la traduction des photos en schémas doit être encore travaillée en ce sens qu'ils figurent d'avantage ce qu'ils savent ou croient savoir, qu'ils ne représentent les images.

6. DES OBSTACLES À SURMONTER

des obstacles
de différentes
natures

Malgré les heures consacrées à l'étude de la reproduction humaine, 7 élèves (sur 23) ne semblent pas avoir réalisé un apprentissage dans ce domaine : leur niveau de connaissances a peu évolué et est resté insuffisant. Pour ces élèves qui n'ont pas réellement progressé, l'enseignante signale qu'ils rencontrent également des difficultés dans d'autres disciplines. Elle attribue ces difficultés pour certains élèves à un défaut d'attention trop fréquent, pour d'autres à un manque d'intérêt pour la classe en raison de problèmes psychologiques ou à une incapacité à renoncer à des idées *a priori*. De plus, pour un ou deux de ces élèves, il est probable que la reproduction soit un sujet tabou.

Les autres élèves ont eux aussi rencontré des difficultés dans l'apprentissage de la reproduction même s'ils ont pu en dépasser certaines. Nous avons essayé de repérer ce qui a pu faire obstacle à l'apprentissage.

6.1. Des conceptions à remettre en question

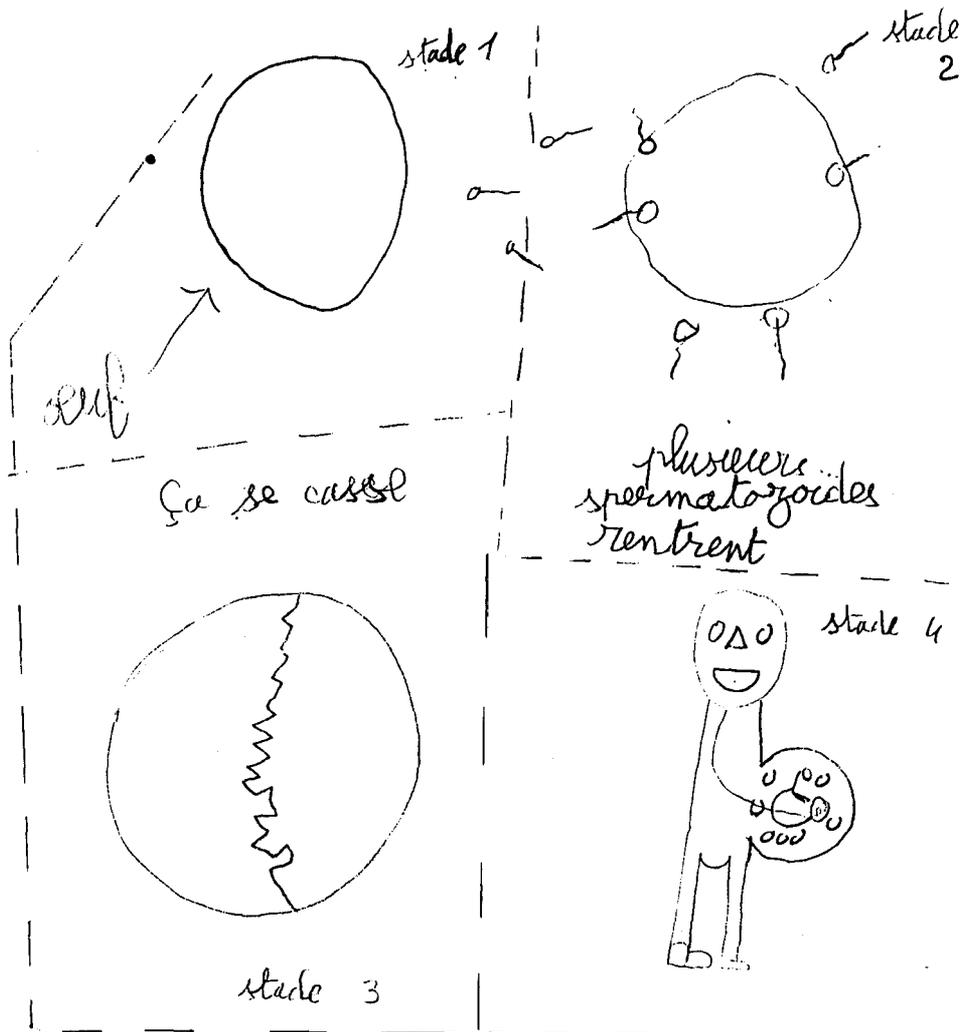
des conceptions
qui relèvent
du "préformisme"

En analysant les réponses au test n° 1, nous avons pu constater que 12 élèves utilisent le terme de *graine* pour désigner quelque chose qui préexiste (avant la fécondation) ou bien ne considèrent qu'un seul gamète pour expliquer l'origine de l'embryon. En faisant référence aux travaux d'histoire des sciences, nous retrouvons ici un courant d'idées très présent au XVIII^{ème} siècle : il s'agit d'une conception, qualifiée de préformiste, qui consiste à penser que le nouvel être existe déjà en petit dans le spermatozoïde (conception spermatiste) ou l'ovule (conception oviste). Parmi les 12 élèves qui présentent ce type de conception, 8 seraient à ranger parmi les spermatistes et un élève serait plutôt oviste. Les 3 autres élèves, plus difficiles à situer, expriment des idées qui peuvent les faire apparaître tantôt comme ovistes, tantôt comme spermatistes. Le test n° 2 a permis de repérer des conceptions préformistes (tendance spermatiste) chez 2 autres élèves.

Il s'avère que, parmi les 14 élèves "préformistes", 4 élèves n'ont pas du tout progressé. Cependant, 4 élèves ont progressé en ce qui concerne la fécondation (avec des résultats peu stables pour deux d'entre eux) et 6 autres ont progressé dans les deux domaines étudiés (la fécondation et le développement embryonnaire). On peut donc penser que les conceptions préformistes ont pu constituer un obstacle à

l'apprentissage pour certains élèves alors que d'autres élèves ont réussi à les remettre en question. Les situations proposées en classe auraient, conformément à nos attentes, aidé ces derniers à faire évoluer leurs conceptions ; l'observation des diagrammes de ces élèves permet de mettre en évidence ce qui a pu jouer : la photo de fécondation pour 2 élèves, le film pour 4 élèves au moins, le travail sur la série de photos pour 4 élèves. Les activités réalisées à partir des images ont donc certainement joué un rôle dans la remise en cause des conceptions initiales des élèves, de même que les moments de confrontation entre les élèves.

Document 8. Schémas d'élèves illustrant la confusion entre "cellule-œuf" et "œuf d'oiseau"



confusion entre
la cellule-œuf et
l'œuf des oiseaux

Dans le test n° 1 est apparue très nettement une confusion entre l'œuf pris comme cellule issue de la fécondation et l'œuf des oiseaux dans lequel se développe le poussin. Un élève, classé parmi les préformistes, explique que le bébé se développe dans l'œuf, le spermatozoïde ayant alors pour rôle de "casser la coquille" (doc. 8). Nous pensons qu'une telle confusion peut exister dans l'esprit d'autres élèves, ce qui pourrait expliquer pourquoi certains représentent l'embryon à l'intérieur de l'œuf. Nous avons pu en effet constater, grâce aux tests n° 1 et n° 2, que l'embryon semble se développer dans l'œuf (doc. 9) pour 7 élèves (sur les 23 interrogés) et dans l'ovule pour 2 élèves.

**Document 9. Schéma d'élève illustrant la conception
"l'embryon se développe dans l'œuf"**



Nous craignons au départ que cette conception erronée du développement embryonnaire puisse perturber la compréhension du phénomène de fécondation : certains élèves paraissent imaginer que l'ovule (devenu œuf après la rencontre avec un spermatozoïde) constituait le lieu où le spermatozoïde se développe, conformément à la conception préformiste citée ci-dessus. En réalité, la plupart des élèves qui, à l'origine, localisaient explicitement le bébé dans l'œuf (ou l'ovule) ont progressé en ce qui concerne la fécondation et ont atteint le degré 3 ou 4 de notre échelle. Plusieurs

explications peuvent être avancées : ou bien leurs conceptions n'ont pas constitué de véritables obstacles ou bien elles ont été rapidement remises en cause du fait que l'enseignant les a prises en compte dans son enseignement. Il n'en reste pas moins que de nombreux élèves n'ont toujours pas compris l'origine de la poche amniotique qu'ils semblent confondre avec un œuf (comme si c'était l'intérieur de l'œuf seulement qui se développait). Il est possible que les capacités d'apprentissage des élèves ne permettent pas de comprendre que la cellule-œuf est à l'origine non seulement de l'embryon mais aussi des annexes embryonnaires comme la poche amniotique qui l'entoure. On peut aussi penser que les documents proposés aux élèves ont pu conforter leurs conceptions fausses ou, tout au moins, n'ont pas réussi à les faire évoluer.

6.2. La lecture des images

Certaines difficultés rencontrées par les élèves peuvent être attribuées à la lecture des images et à l'apprentissage qu'il nécessite.

• *Difficultés inhérentes aux images utilisées*

le problème
particulier des
images illustrant
la fécondation

Souvent les images présentées ne donnent qu'une idée partielle du phénomène correspondant. Les photos de fécondation qui sont généralement proposées aux élèves montrent le plus souvent la rencontre entre un ovule et des spermatozoïdes (cas de la photo utilisée ici) avec parfois la pénétration d'un spermatozoïde mais elles ne permettent pas de comprendre ce qui se produit au moment de l'union entre les deux cellules. Dans ces conditions, l'élève peut difficilement comprendre à quoi correspond véritablement le phénomène de la fécondation, certains le ramenant à une simple addition où chaque élément garde sa propre identité et sa structure. Le film présenté n'a pas permis non plus de montrer la fusion des gamètes qui est simplement comparée à une explosion suivie presque aussitôt de l'apparition d'un embryon. D'une manière plus générale, les phénomènes étudiés ne sont pas observés en continu (et à vitesse réelle) si bien que les élèves peuvent avoir l'impression que certaines transformations se font brutalement alors que justement on voudrait montrer le contraire.

nécessité de
maîtriser les
changements
d'échelle

L'absence d'indications claires et accessibles sur les échelles de grandeur correspondant à chaque image représente certainement une difficulté pour les élèves. Un travail sur les changements d'échelle à opérer d'une image à l'autre est indispensable pour effectuer les mises en relation que nécessite leur compréhension. Cela permettrait sans doute d'éviter certaines confusions concernant la localisation de l'embryon, par exemple en comparant la taille de l'œuf à celle de la poche amniotique. De plus, les élèves ne disposent pas, le plus souvent, d'informations permettant de situer, les uns par rapports aux autres, les sujets des

images présentées, ce qui entraîne une difficulté supplémentaire.

Certaines images peuvent conforter des conceptions fausses. La zone pellucide, présente sur les photos montrant les premières divisions de l'œuf (tâche D), aurait pu être interprétée par certains élèves comme étant une sorte de "coquille" comparable à celle d'un œuf d'oiseau. L'enseignante a dû tenir compte de cela, ce qui expliquerait que peu d'élèves aient fait cette confusion.

• **Difficultés liées à la stratégie de lecture des images**

connaître les conditions favorables à la lecture des images

La lecture d'une photo ne peut être réalisée (de façon satisfaisante) que si l'on dispose de connaissances suffisantes dans le domaine correspondant. C'est ainsi que la photo de fécondation donnée à lire aux élèves (tâche A, doc. 1) ne pouvait avoir de sens pour eux que s'ils avaient déjà eu l'occasion de voir et d'essayer de comprendre des images semblables. Certains sont capables de décrire la photo sans comprendre véritablement le phénomène décrit, ce qui confirme notre hypothèse selon laquelle la lecture d'une image doit s'inscrire dans des conditions qui permettent de mobiliser le savoir correspondant si l'on veut favoriser la conceptualisation.

Par ailleurs, certaines images présentées seules ne peuvent être comprises sans explications. Des explications ont été proposées aux élèves sous différentes formes. Par exemple, la photo de fécondation, utilisée à l'occasion de la tâche A, était accompagnée d'un schéma et de textes (doc. 1). Cela suppose que l'élève soit capable de mettre en relation la photo avec le schéma pour lire la photo et avec les textes pour comprendre le phénomène présenté, compétence qui nécessite un apprentissage. Notons que, dans cette classe, un tel apprentissage avait déjà été réalisé auparavant dans d'autres domaines ; certains élèves en ont certainement tiré parti.

Les images présentées dans un film sont parfois très fugaces et on peut se demander si les élèves arrivent cependant à les repérer. C'est le cas des images concernant la fécondation et les premiers stades du développement embryonnaire qui constituent dans le film de C. Edelman une séquence très brève. Pour pallier cet inconvénient, nous avions justement prévu de réfléchir avec les élèves sur ces phénomènes avant de leur montrer le film (tâche A). Les réponses des élèves au test n° 3 semblent prouver que cette façon de procéder était judicieuse puisque 8 élèves (sur 23) ont cité la fécondation comme étant un élément marquant du film. Certains citent même la formule "*un ovule + un spermatozoïde = un œuf*" prouvant ainsi l'impact du document analysé auparavant.

Face à des images, tous les élèves n'utilisent pas la même stratégie de lecture mais il paraît important, à travers ces

exemples, de les aider à construire une stratégie qui fasse que l'image joue un rôle efficace dans le processus de conceptualisation.

6.3. Des obstacles conceptuels

À plusieurs reprises, dans les pages qui précèdent, nous avons évoqué des difficultés liées aux concepts abordés eux-mêmes. L'approche de la fécondation et du développement embryonnaire oblige à envisager la notion de cellule. Certains élèves connaissaient le terme de cellule sans savoir exactement ce qu'il désignait et nous avons choisi d'en parler à propos des divisions de l'œuf. L'enseignante a expliqué que cette division se traduisait en réalité par une augmentation du nombre de cellules et les réponses à la deuxième épreuve d'évaluation (tâche F) montrent que les élèves semblent avoir bien compris les premières étapes de l'évolution de l'œuf.

montrer les
premiers stades
de l'évolution de
l'embryon pour
remettre en
cause certaines
conceptions

Nous avons remarqué que, dans les manuels de l'école primaire, les divisions de l'œuf n'étaient presque jamais montrées ni même évoquées. Les auteurs doivent sans doute considérer que cela dépasse les capacités de compréhension des élèves. Nous avons pensé au contraire que l'attention portée aux premiers stades de l'évolution de l'œuf permettrait peut-être de remettre plus facilement en cause certaines conceptions erronées ou d'éviter des confusions souvent relevées chez les élèves pour ce qui concerne le développement de l'embryon. Les résultats des élèves aux exercices d'évaluation font apparaître une meilleure compréhension du processus propre au développement embryonnaire : l'aspect progressif des transformations est pris en compte par la plupart des élèves dans leurs représentations graphiques de l'évolution de l'œuf. Toutefois, nous n'avons pas obtenu les progrès que nous espérions ; c'est pourquoi nous pensons que le travail effectué avec les élèves n'a pas suffi pour aider à dépasser un obstacle réel qui empêche la compréhension de l'ensemble du développement embryonnaire et qui tient sans doute au rapport entre la multiplication des cellules et la construction d'un organisme. Cet aspect de l'apprentissage du développement embryonnaire mérite d'être approfondi si on veut faciliter la compréhension des phénomènes qui sont impliqués.

causes et
conséquences
de l'introduction
d'un concept
dans
l'enseignement

Présenter des notions aussi difficiles que la fécondation à des élèves de l'école primaire nécessite donc une réflexion sur la transposition à effectuer pour les rendre accessibles. On peut se demander ce qui a motivé l'introduction de la notion de fécondation dans l'enseignement de la biologie à l'école élémentaire (à partir de 1985). Il est possible que l'existence de nombreuses images, très médiatisées, permettant de visualiser le phénomène ait pu jouer un rôle dans ce choix, comme si le simple fait de montrer des images de fécondation suffisait à comprendre ce qui se passe. Nous avons vu ici que ce n'est pas le cas : pour beaucoup d'élèves

ce phénomène a gardé une part de magie et reste difficile à expliquer, même si les activités proposées autour des images ont permis, à certains du moins, de mieux l'appréhender.

Il est difficile de prévoir exactement les conséquences de l'introduction d'un concept dans l'enseignement de la biologie à l'école primaire ; cela suppose en effet de connaître à l'avance les obstacles susceptibles d'être rencontrés. Le travail sur les images nous a permis de mieux comprendre certains de ces obstacles et de repérer ceux qui nous paraissent franchissables à ce niveau.

CONCLUSION

L'étude présentée ici a une valeur limitée : les résultats que nous avons commentés concernent une seule classe et le faible effectif d'élèves observés (23 en tout) ne nous permet pas d'accorder une portée générale à nos conclusions. Par ailleurs, il faudrait vérifier la stabilité des apprentissages à plus long terme (plusieurs mois après), ce qui n'a pas encore été réalisé. Ce travail est donc à poursuivre et à approfondir mais il nous a permis de préciser la nature des obstacles à surmonter dans cet apprentissage. Partant de là, nous nous proposons d'effectuer d'autres travaux visant à mieux connaître les stratégies de lecture qu'utilisent les élèves face aux images.

Notre objectif était non seulement de montrer l'intérêt que représente le travail sur les images lors de l'étude de la reproduction humaine mais aussi de préciser les conditions à réaliser pour que ce travail soit efficace du point de vue de l'apprentissage des concepts visés. En particulier, cette étude tend à montrer que l'utilisation des images dans l'enseignement de la biologie suppose qu'elle soit associée à des tâches qui aient véritablement un sens pour l'élève. Une image isolée de son contexte est difficile à interpréter par l'élève s'il ne peut la rattacher à des connaissances ou à des interrogations portant sur le domaine correspondant. L'enseignant doit donc intégrer les images qu'il propose dans une stratégie d'ensemble de façon à ce qu'elles puissent constituer des outils structurants de la pensée et favoriser ainsi l'apprentissage. C'est dans cette perspective que nous avons proposé la lecture et l'élaboration de schémas, outils indispensables dans l'apprentissage scientifique. Nous avons pu ainsi appréhender l'aide que peut représenter la schématisation non seulement dans l'interprétation des images mais aussi dans la compréhension des phénomènes étudiés.

La description et l'analyse critique des situations proposées aux élèves offrent un autre intérêt : elles peuvent donner aux enseignants des idées de progression et peuvent permettre d'éviter certains écueils grâce à une réflexion sur le

donner du sens
au travail sur
les images

l'intérêt
d'une réflexion
sur le rôle des
images dans
l'apprentissage

rôle des images dans l'apprentissage en sciences. De plus, la diversité des profils des élèves (matérialisés par les diagrammes que nous avons construits) révèle différents parcours possibles au cours de l'apprentissage et montre la nécessité de diversifier les situations proposées aux élèves. Cependant, certains ont très peu ou pas du tout progressé à l'issue des travaux effectués dans cette classe ; il reste donc à trouver d'autres situations ou d'autres stratégies pédagogiques afin de permettre à la majorité des élèves de progresser malgré les difficultés rencontrées.

Colette GOUANELLE
 Patricia SCHNEEBERGER
 IUFM d'Aquitaine, Bordeaux
 LADIST (Université Bordeaux I)

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.-P., GINSBURGER-VOGEL Y. (1988), "Aspects de la schématisation en didactique des sciences", *Bulletin de Psychologie*, tome XLI, n° 386,
- ASTOLFI J.-P. (1986), "Les langages et l'élaboration de la pensée scientifique", *Le français aujourd'hui* (revue de l'AFEF), n° 4.
- ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B., VÉRIN A. (1991), *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, INRP.
- CIBLES n° 25 (1991) *La schématisation*, Nantes, ENNA.
- DENIS M. (1982), "Représentation imagée et résolution de problèmes", *Revue française de pédagogie*, n° 60.
- DE VECCHI G., GIORDAN A. (1990), *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?*, Nice, Z'éditions.
- DROUIN A.-M. (1987), "Des images et des sciences", *Aster*, 4, Communiquer les sciences.
- GINSBURGER-VOGEL Y. (1986), "À propos de la schématisation des relations alimentaires en chaînes et réseaux", *Biologie-Géologie* (Bulletin de l'APBG) n° 1.
- GINSBURGER-VOGEL Y. (1987), *Apprentissages scientifiques au collège et pratiques documentaires*, INRP.
- GINSBURGER-VOGEL Y. (1988), "Comprendre les illustrations, décoder les images", *Des manuels pour apprendre*, Collection Rencontres pédagogiques, n° 23, INRP.
- GIORDAN A. (1987), *Histoire de la Biologie*, Paris, Lavoisier.

GIORDAN A., MARTINAND J.-L. (1984), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique*. Actes des sixièmes journées internationales sur l'éducation scientifiques et technique.

KASTENBAUM M. (1979), "Les schémas des manuels scolaires : difficultés et diversité des prescriptions et des analyses", *Enfance*, 2, p.159 à 167.

MIEVIELLE D., (1985), "Connaissance et schématisation", *Bulletin de Psychologie*, tome XXXVIII, n° 371.

PETERFALVI B. (1988), "Outils graphiques, anticipation de la tâche, raisonnement", *Aster*, 6.

PETERFALVI B., RUMELHARD G., VÉRIN A. (1986), "Relations alimentaires", *Aster*, 3, Explorons l'écosystème.

Recherches pédagogiques n° 117 (1983), *Éveil scientifique et modes de communication*, INRP.

VEZIN J.-F. (1982), "Apport informationnel des schémas et des énoncés et activité de mise en correspondance", *Enfance*, 5, 351-362.

VEZIN J.-F. (1985), "Mise en relation de schémas et d'énoncés dans l'acquisition de connaissances", *Bulletin de Psychologie*, tome XXXVIII N° 368, 71-80.

VEZIN J.-F. (1985), Repères bibliographiques : "La schématisation", *Perspectives documentaires en sciences de l'éducation*, INRP, 7.

VEZIN J.-F. (1986), Schématisation et acquisition des connaissances, *Revue française de pédagogie*, n° 77, oct.-nov.-déc., 71-78.

VEZIN J.-F., VEZIN L. (1988), "Illustration, schématisation et activité interprétative", *Bulletin de Psychologie*, tome XLI, n° 386, 655-665.

L'IMAGERIE BIOMÉDICALE : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques

Pierre Clément

Après quelques réflexions théoriques sur la définition et la typologie des images scientifiques, notamment en fonction des deux pôles figuratif/graphique, ce texte présente les principaux types d'imagerie biomédicale et leurs codes de reconnaissance spécifiques (iconiques et scientifiques). Il est montré que toutes ces imageries sont structurées autour de trois notions

- la transparence/opacité : microscopie optique et électronique, radiographie, scanner X ;
- la réflexion de signaux : œil nu, loupe, endoscopie, échographie ;
- l'émission de signaux : scintigraphie, TEP (tomographie par émission de positons), IRM (imagerie par résonance magnétique), thermographie, EEG et MEG (électro- et magnéto-encéphalographie).

Ces trois notions structurantes peuvent être l'objet de stratégies pédagogiques. D'autres obstacles sont identifiés au cours de cette analyse, notamment le problème de l'articulation entre des images 2D et des structures 3D. Plusieurs activités pédagogiques sont finalement proposées pour une familiarisation précoce des élèves à ces questions, dès l'école primaire ou même maternelle : ombres chinoises, mosaïques, coupes sérieées, et diverses méthodes de visualisation du relief.

l'usage scolaire
croissant de
l'imagerie
biomédicale

De la maternelle à l'université, l'enseignement de la biologie et de la médecine est très visuel. Son iconographie s'est considérablement enrichie et diversifiée durant ces dix dernières années, à la suite des progrès spectaculaires de l'imagerie biomédicale : endoscopie, échographie, thermographie, scanner X, scintigraphie, tomographie par émission de positons (TEP ou, en anglais, PET-Scan), I.R.M. (imagerie par résonance magnétique), cartographie des EEG et MEG (électro- et magnéto-encéphalographie) : autant de nouvelles façons de décrire l'intérieur du corps humain (son anatomie, son fonctionnement, ses pathologies) sans avoir à le disséquer ou à le couper en tranches. Seules les radiographies, dont nous venons de fêter le centenaire (c'est en décembre 1895 que Roentgen réalisa la première radiographie sur la main de sa femme : Pallardy *et al.*, 1989), préfiguraient cette explosion de l'imagerie biomédicale (1).

- (1) "Le terme d'imagerie médicale a été introduit pour définir l'ensemble des nouvelles techniques venues épauler la radiologie dite conventionnelle." (Aubert & Laissy 1995) : il s'agit de toutes les techniques qui permettent de voir les structures vivantes d'un corps humain sans avoir besoin de l'ouvrir, le disséquer ou le couper en

l'objectif de ce texte : rendre ces images moins mystérieuses, pour aider leur usage scolaire

La colorisation de cette imagerie moderne numérisée lui confère une dimension esthétique qui contribue à la rendre fascinante, et explique que les médias en soient friands. Mais ces images restent dans l'ensemble plutôt mystérieuses, même pour les enseignants. Elles risquent dès lors d'être sous-utilisées à l'école, malgré les programmes et instructions officielles. L'objectif premier de ce texte est d'éviter cette sous-utilisation, en montrant que derrière ces images se cachent des types d'approche finalement simples, peu nombreux et susceptibles d'apprentissages redondants depuis le début de l'école primaire, voire depuis la maternelle. L'acquisition précoce de ces notions structurantes devrait faciliter la compréhension ultérieure de l'imagerie biomédicale la plus complexe.

Mais, auparavant, je développerai quelques aspects plus théoriques pour souligner le double ancrage de mes réflexions dans la sémiologie et la didactique des sciences, tout en présentant une typologie des images scientifiques pour situer l'imagerie biomédicale par rapport aux autres images scientifiques.

1. LE CONTEXTE THÉORIQUE

1.1. Qu'est-ce qu'une image ?

une image n'est ni un texte, ni l'objet qu'elle représente

Tout d'abord, qu'est-ce qu'une image ? La réponse n'est pas si aisée. Du côté de la sémiologie, Peirce (1931-1935) ou Morris (1938) la définissent comme un "*signe iconique*" qui aurait des propriétés de ce qu'il dénote. Cependant Umberto Eco (1968), sémioticien lui aussi, dénonce cette tautologie : "*les signes iconiques ne possèdent pas les propriétés de l'objet représenté [...] ils reproduisent certaines conditions de la perception de l'objet mais après les avoir sélectionnées selon des codes de reconnaissance et les avoir notées selon des conventions graphiques.*"

Ces codes de reconnaissances et conventions graphiques ne sont pas ceux du langage écrit : une image n'est pas un texte. Elle est tout de suite perçue dans sa globalité, dans l'ensemble de l'"*énoncé iconique*" (U. Eco, 1968). Certes, dans cet énoncé sont identifiables des signes iconiques, sortes de mots dans un texte ; mais, plus que dans un texte, le sens des signes dépend de celui de l'image.

une image n'induit pas les mêmes actions qu'un objet

Toute image se situe entre deux pôles, le figuratif et le non-figuratif. Mais même les images les plus figuratives (photos ou peintures réalistes) diffèrent fondamentalement de ce qu'elles représentent : elles n'induisent pas les mêmes

tranches. Mais ce travail concerne aussi les images anatomiques, histologiques et cytologiques (y compris la cyto- et l'histo-physiologie) : soit l'ensemble que je nomme, à la suite de Taugourdeau 1981, l'imagerie biomédicale.

actions chez celui qui regarde. Face à un rocher, je peux m'approcher, le toucher, grimper dessus ; face à sa photo, je peux certes regarder à la loupe mais c'est très limité, et les autres actes seront imaginaires, par analogie avec mes expériences antérieures sur des rochers.

Le sens, la signification d'un phénomène, d'un objet ou de leur image viennent des perceptions-actions et interprétations qu'ils enclenchent, et qui dépendent de l'histoire individuelle de celui qui regarde, et de son contexte culturel et social (Clément 1992, Clément *et al.* 1996). L'interprétation d'une image peut ne pas avoir grand chose de commun avec ce qu'espérait son concepteur. Les formateurs et les chercheurs en didactique le savent bien : ce n'est pas parce que l'enseignant a une idée très claire de son schéma, que ce sera aussi clair pour l'élève !

1.2. Qu'est-ce qu'une image scientifique ?

Une image scientifique est un énoncé iconique dont les référents (ce qu'elle cherche à dénoter) sont scientifiques : elle concerne une interprétation scientifique du monde, qui est encodée dans l'image. Mais toute image est susceptible de multiples connotations. Toute image scientifique a un impact autant affectif que cognitif. Par exemple, au festival du film scientifique d'Oullins, un membre du jury s'évanouissait à chaque documentaire médical montrant des visières vivantes par endoscopie ...

Comprendre une image scientifique nécessite une connaissance préalable des codes scientifiques et iconiques qui lui donnent du sens, qui font émerger du signifié à partir de formes qui, sinon, demeurent bien mystérieuses ou sont interprétées à partir d'autres codes (familier, esthétique, psychanalytique...). Et la vulgarisation scientifique favorise souvent ces autres niveaux d'interprétation, partant du principe que, même si le lecteur n'y comprend rien, il aura au moins du plaisir à voir cette image !

Le sens d'une image scientifique dépend de la **pratique individuelle et sociale** non seulement de celui qui la produit, mais aussi de celui qui la regarde. Par exemple, l'ingénieur cherche juste à obtenir des images nettes ; ce qui est pour lui un signifié devient signifiant pour le biologiste qui observe ces images nettes en fonction de sa problématique de recherche : il sélectionne des images preuves, publiables dans des revues scientifiques très spécialisées. Images qui sont parfois choisies sur d'autres critères par les vulgarisateurs ou par les enseignants. Ainsi la même image biomédicale n'a pas le même sens ni la même fonction dans une pratique de recherche fondamentale, de diagnostic médical ou à l'école.

pour
comprendre
une image
scientifique, il
faut maîtriser des
codes iconiques
et des codes
scientifiques
précis

1.3. Une typologie des images scientifiques

qui ?
pour qui ?
pour quoi ?

Plusieurs typologies sont possibles en fonction des objectifs visés. Par exemple, l'analyse peut s'organiser autour des trois questions essentielles suivantes : qui a réalisé cette image ? pour quels destinataires ? pour quelles fonctions ? Elle peut aussi se focaliser surtout sur ce troisième point, en analysant les types d'impacts de l'image sur ses destinataires : affectif et/ou cognitif, plus ou moins heuristique selon les interrogations, actions ou interprétations qu'elle suscite.

La typologie présentée ici est axée sur la question : comment l'image a-t-elle été réalisée, à partir de quels codes scientifiques et iconiques ? Le pré-supposé de cette approche est que le destinataire doit avoir les capacités d'une maîtrise minimale de ces codes pour comprendre l'image.

- **Deux pôles : images graphiques et images figuratives**

les données ou concepts pré-existent aux images graphiques qui les représentent

Les images graphiques mettent en forme des données ou interprétations qui préexistent : équations, résultats expérimentaux, modèles et autres conceptualisations. Les images figuratives, *a contrario*, ont un rapport direct avec les objets ou phénomènes à interpréter ; même si ce rapport implique des appareillages plus ou moins sophistiqués, avec transcodage des signaux les plus divers en signes iconiques.

Le plus simple pour illustrer ce clivage (et ses limites) est de prendre quelques exemples.

les images figuratives sont la source d'informations nouvelles sur ce qu'elles représentent

Des images de biologie moléculaire ou d'immunologie (telles que la structure de la membrane, la synthèse des protéines, les clefs et serrures des antigènes et anticorps) ont été construites par les chercheurs pour formaliser leurs conceptualisations : ce ne sont pas des images figuratives. L'**ADN** schématisé par sa double hélice en est un bon exemple. En revanche, l'image de double hélice d'ADN observée récemment au microscope à effet tunnel est une image figurative (et controversée d'ailleurs) qui confirme enfin la conceptualisation classique en double hélice. Les images de chromatographie du séquençage d'ADN (négatifs photo où chaque bande indique l'emplacement d'une des 4 bases) sont des images figuratives ; mais leur traduction en une longue succession des quatre lettres ATCG n'est plus une image : c'est une information alpha-numérique tout comme les symboles chimiques. La **carte géographique** est un exemple typique d'image graphique, non figurative donc : elle existait avant les photos aériennes ou par satellite qui sont, elles, des images figuratives : il est dans ce cas possible d'établir un continuum entre l'image figurative et non figurative.

- **Les images graphiques**

Elles peuvent être classées en trois grands groupes, selon la nature des données qui ont permis de les construire.

trois catégories
d'images
graphiques,
mettant en
graphes
- soit des
données
empiriques,
- soit des
équations,
- soit des
concepts

a/ Images construites à partir de tableaux de données empiriques : histogrammes, courbes, camemberts, cartographie... ; Bertin (1967) en a donné une analyse sémiologique qui demeure une référence.

b/ Images construites à partir de fonctions mathématiques : graphes correspondant à des équations, univers de la géométrie, ou encore des fractales ; mais aussi toutes les simulations de phénomènes complexes (automates cellulaires, réseaux neuro-mimétiques...).

c/ Images de conceptualisations scientifiques : schémas d'électricité ou d'optique, atome de Bohr ou images de macromolécules, etc. Il ne s'agit donc que d'une partie des schémas tels que Vézin (1984) les a définis. Cette catégorie inclut en revanche les types de dessins/schémas créés par les vulgarisateurs spécifiquement pour leurs publics, et parmi lesquels Jacobi (1987) distingue la métaphore, l'animation, le réalisme-grotesque... ; ainsi qu'une grande partie des schémas ou diagrammes créés pour les manuels scolaires, et à propos desquels une typologie fine reste à construire.

• *Les images figuratives*

deux grands
types d'images
figurent
- soit des
domaines visuels

a/ Codage iconique de signaux visuels, qui peuvent être photographiés, filmés, peints, dessinés ou schématisés (schémas figuratifs dans ce cas) : observations directes ou à travers des instruments d'optique. Ces images restent dans l'univers visuel, mais souvent non familier (le très petit, le très grand, le très rapide ou le très lent, l'infra-rouge, l'ultra-violet, le luminescent, l'habituellement caché vu par endoscopie, etc.).

- soit des
domaines
non visuels
transcodés

b/ Transcodage iconique (2) par transformation de signaux physiques les plus divers en signaux visuels (donc ensuite en photos, films, images numériques ou dessins). Ces images sont toujours très difficiles à comprendre. Certaines visualisent des signaux physiques ; d'autres les localisent, cartographient leur répartition ; d'autres enfin visualisent l'interaction entre des signaux physiques et les structures étudiées.

• *Numérisation des images, et mixage figuratif / graphique*

L'image figurative numérisée s'hybride aisément désormais avec des images graphiques de synthèse. Dans certains films récents, le spectateur n'arrive guère à faire la distinction.

(2) Cette notion de transcodage iconique n'est pas à confondre avec celle de "*médiateur intersémiotique*" que Tardy (1975) utilise, à la suite de Jakobson (1963) pour exprimer que l'image peut être la traduction intersémiotique d'un signe linguistique : idée qui correspond plutôt à la troisième catégorie des images graphiques.

hybridation entre le "vrai" (figuratif) et le "faux" (construction graphique)

L'imagerie médicale est actuellement numérique (à part les radiographies classiques (3) et les endoscopies) mais elle reste figurative. Certes ses images numériques sont "travaillées", par élimination d'artefacts, par colorisation artificielle des niveaux de gris, etc. Mais chacune de ces opérations est scientifiquement justifiée, et le chercheur, le médecin ou le patient peuvent rester confiants par rapport aux informations nouvelles que l'image figure.

Certaines de ces images médicales sont composites. Ainsi les illustrations des cerveaux d'hommes et de femmes publiées récemment dans *Nature* (Shaywitz *et al.* 1995) puis reprises dans la plupart des revues de vulgarisation scientifique, incrustent, sur des coupes tomographiques classiques obtenues en IRM, des pixels colorés qui résument tout un protocole expérimental couronné par des calculs statistiques : l'image graphique est superposée à une image figurative.

2. PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX TYPES D'IMAGERIE BIOMÉDICALE, EN LES REGROUPANT AUTOUR DE TROIS NOTIONS STRUCTURANTES

- réflexion
- transparence/
opacité
- émission
des signaux

Ces trois notions structurent déjà notre univers visuel :

- les objets visibles qui nous entourent réfléchissent la lumière jusqu'à nos yeux ;
- mais certains d'entre eux sont vus par transparence, après que la lumière les ait plus ou moins traversés ;
- enfin nous voyons aussi, directement, la lumière émise par des sources lumineuses.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principales familles d'imagerie biomédicale, pour montrer que, au delà de leur diversité et de leur apparente complexité, elles sont structurées chacune par l'une de ces trois notions. Une telle présentation synthétique n'est nulle part disponible à ma connaissance ; le lecteur pressé peut directement se reporter à la synthèse du chapitre 3.

2.1. La réflexion des signaux

- **Réflexion de photons du spectre lumineux visible**

Cette imagerie est celle qui pose le moins de problèmes d'interprétation, car elle renvoie à des codes sémiotiques visuels qui nous sont souvent familiers : dessins ou peintures à partir d'observations à l'œil nu, photos ou films avec des grossissements auxquels nous sommes habitués. Les codes

(3) Ce qui n'empêche pas l'usage de systèmes experts pour l'aide au diagnostic à partir de radiographies : Wackenheim 1987.

l'univers familier
des images
anatomiques
peut encore
nous étonner
(dissection,
endoscopie,
microscopie,
ralenti,
accélééré...)

scientifiques n'en sont pas moins spécialisés, surtout quand il s'agit d'images inhabituelles :

- observations *in vivo* à l'intérieur du corps humain, avec une caméra couplée à une fibre optique ;
- arrêts sur images ou ralentis (photos ou films grande vitesse) ;
- exploration de l'univers microscopique enfin (loupe, objectifs macro des appareils de photo ou caméras).

Notons enfin que l'anatomie du corps humain, désormais observable sur des individus vivants grâce à l'imagerie médicale, a été établie par des observations à l'œil nu, après dissections, sections, reconstitutions à partir de tranches anatomiques sériées (par exemple pour le cerveau). Ou encore à partir de préparations raffinées telles que la coloration, voire la solidification, des veines ou des artères (injection de cires colorées ou, plus récemment, de matières plastiques ; Lemire 1993) : cette dernière technique permet d'observer aussi finement, et en 3D, l'irrigation sanguine du cerveau que les méthodes les plus modernes (figure 5) : mais les diagnostics étaient alors *post-mortem* !

• **La microscopie électronique à balayage :
une émission d'électrons qui évoque
un mécanisme de réflexion**

l'univers
anatomique
de la M.E. à
balayage
ne surprend que
par ses forts
grossissements

La microscopie électronique à balayage permet d'observer des structures comme à la loupe, mais avec des grossissements qui peuvent être bien plus importants : de x 50 à x 50 000 (les loupes vont de x 2 à x 800). Les objets observés par le biologiste ont été fixés, déshydratés, et le plus souvent recouverts d'une pellicule métallique (de l'or). Ils sont vus en 3D, avec des ombrages qui nous sont familiers, toujours en noir et blanc (figure 1 ; la colorisation de certaines images publiées dans des revues de vulgarisation est surajoutée). Les codes sémiotiques visuels sont donc ceux de notre vision habituelle, mais cette plongée dans cet univers microscopique normalement "invisible", exige des codes scientifiques spécialisés.

Au grossissement près (et à l'absence de mouvements et de couleurs), ces images ressemblent donc à des photos habituelles (figure 1). Mais elles en diffèrent fondamentalement.

- Ce ne sont pas des photons lumineux qui arrivent sur l'objet observé, puis qui impressionnent le négatif photographique : ce sont des électrons, qui se déplacent dans le vide de la colonne du microscope électronique.

- En absence de revêtement métallique sur l'objet observé, il y a bien un phénomène de réflexion des électrons : une partie d'entre eux rebondit sur la surface de l'objet. Mais dans le cas le plus fréquent où les objets sont métallisés, il y a production d'électrons secondaires qui sont attachés à la couche de métal, et qui donnent un signal 3 à 4 fois plus important pour la formation de l'image : tout se passe à cet

égard comme s'il y avait réflexion avec amplification, mais il y a en fait émission d'électrons.

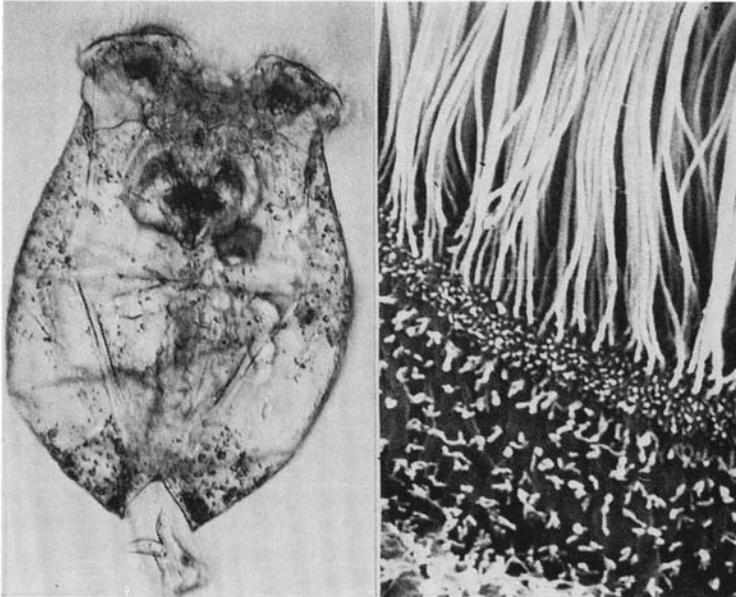


Figure 1. Photo de gauche : Microscopie optique, G x 400

Un rotifère (*Brachionus plicatilis*) vu par transparence. Ces animaux planctoniques portent à l'avant une double couronne de cils qui donnent une impression de roue quand on les voit battre au microscope (d'où le nom de rotifère : qui porte une roue). Le tégument de ces animaux est transparent, et il est possible de voir au microscope tous leurs organes internes : sur cette photo, la mise au point (du microscope et de l'appareil de photo) a été faite sur la partie dorsale de l'animal. (Photo P. Clément)

Photo de droite : Microscopie électronique à balayage, G x 4 000

Les cils antérieurs d'un rotifère sont nettement visibles. La surface de l'animal a été métallisée (or vaporisé) ; son tégument et ses cils ne sont pas transparents ici : c'est leur surface qui est observée, montrant que le tégument porte de très petites villosités. (Photo P. Clément)

• **L'échographie (la réflexion d'ultrasons)**

L'échographie est la technique d'imagerie médicale qui est de loin la plus répandue (4), mais ses images sont souvent difficiles à comprendre. Les premiers échographes datent de 1972. Le principe (voir par exemple Devey & Wells 1983, Weill 1981, Morucci 1992) est de détecter la réflexion d'ultrasons sur des structures vivantes pour obtenir l'image d'une coupe tomographique globalement perpendiculaire à

les ultrasons sont réfléchis comme un écho

(4) Il y a actuellement en France plus de 10 000 échographes en fonctionnement, contre 530 scanners X, 130 appareils d'I.R.M., et 3 sites pour la T.E.P. (qui doit être couplée à la production de radio-isotopes par un cyclotron).

la surface de la peau. Les ultrasons sont émis sous forme d'un pinceau étroit qui se réfléchit à l'interface entre deux structures différentes, comme la réflexion d'un écho contre ces surfaces. L'appareil émet un train d'ultrasons puis enregistre les ultrasons réfléchis (les échos), en les transformant en signaux électriques. La durée entre l'émission et le retour est proportionnelle à la distance parcourue, et permet de localiser les interfaces tissulaires échogènes le long du pinceau d'ultrasons. Le déplacement du pinceau d'ultrasons dans un plan est à l'origine, ligne par ligne, de l'image qui apparaît sur l'écran.

Les liquides sont facilement traversés et ne donnent pas d'écho, tandis que les organes en donnent plus ou moins selon leur constitution et leur organisation ; l'air et le calcium (donc notamment les os) arrêtent les ultrasons : le crâne ne peut donc plus être exploré ainsi à partir du moment où la fontanelle est fermée.

la durée entre l'émission et le retour de l'écho permet de construire l'image d'une coupe tomographique

Depuis une quinzaine d'années, l'image échographique est numérisée : les échos ultrasonores, transcodés en signaux électriques, sont amplifiés et analysés avant de donner les pixels numérisés de cette ligne. L'image qui se construit ligne par ligne est elle-même analysée et améliorée en temps réel. L'effet Doppler permet d'identifier (en couleur sur l'écran) les vaisseaux sanguins. Il devient même possible d'extraire les contours d'une structure (un fœtus par exemple) et d'en reconstituer des images 3D (Morucci, 1992).

Les codes iconiques de l'échographie ne sont pas simples à maîtriser : il faut pour cela une bonne connaissance anatomique préalable des structures observées et de leurs pathologies possibles, conjuguée à une bonne connaissance des mécanismes de l'échographie pour distinguer, dans les échos observés, ce qui est artéfactuel ou significatif.

2.2. Opacité et transparence

Dès sa définition : "ce qui paraît à travers", la transparence est relative. Car si des rayons lumineux traversent totalement un objet, il devient non visible. L'opacité totale ne crée pas plus d'information que la transparence totale. Tout se joue dans des degrés d'opacité/transparence.

Cette notion simple doit être mobilisée pour comprendre un nombre important d'images biologiques ou médicales : microscopie optique (lumière visible), microscopie électronique à transmission (électrons), radiologie (rayons X).

• La microscopie optique

une coupe histologique vue au microscope a une épaisseur, un volume donc

Elle est totalement basée sur cette notion de transparence/opacité par rapport à l'éclairage qui traverse ce qui est observé avant de traverser l'objectif puis l'oculaire du microscope.

son image
superpose toutes
les structures qui
ont arrêté les
rayons lumineux :
comme une
ombre chinoise

Dès ses premières observations sur son prototype de microscope, Leeuwenhoek dessina les micro-organismes présents dans une goutte d'eau, partiellement transparents aux rayons lumineux (figure 1). L'épiderme d'oignon est un autre exemple que connaissent la plupart des élèves, ou encore les cellules desquamantes de notre épiderme buccal.

Mais la plupart des structures vivantes sont trop épaisses et opaques pour être observées ainsi. La solution est la coupe histologique, qui doit être colorée avant d'être observée. Elle a une épaisseur (1 à 2 μm pour les coupes semi-fines, 5 à 10 μm , parfois plus, pour les coupes habituelles après inclusion à la paraffine). Aux faibles grossissements, c'est la superposition de toutes les structures de l'épaisseur de la coupe qui est observée. Aux forts grossissements, c'est l'optique de l'objectif du microscope qui délimite la profondeur de champ observée, et l'observateur explore l'épaisseur de la coupe grâce à la vis micrométrique.

• La microscopie électronique à transmission

une coupe vue
en M.E. à
transmission
à une épaisseur

Ce sont ici des faisceaux d'électrons qui traversent l'objet à observer. Celui-ci doit donc être très fin (l'épaisseur des coupes observées en M.E. à transmission est de 50 à 100 nm), ce qui nécessite des techniques d'inclusion et de microtomie appropriées, sauf cas exceptionnels de structures directement observables car très fines (exemple classique d'un filament d'ADN). Les structures, trop transparentes aux électrons, sont contrastées avec des métaux lourds. Toutes les images de microscopie électronique sont en noir et blanc (figure 2), avec divers niveaux de gris selon les degrés d'opacité aux électrons (les couleurs dans des documents de vulgarisation sont là pour faire joli, mais n'aident guère l'interprétation !).

Figure 2. Commentaire

Dans la **photo c**, le plan de coupe est parfaitement perpendiculaire aux cils, comme l'illustre le schéma de la figure 3. Les structures du cil sont très nettes (membrane cellulaire, 9 doublets périphériques et 2 tubules centraux, structures intermédiaires caractéristiques des kinocils). Les deux traits parallèles superposés à une des coupes transversales de cil indiquent l'épaisseur approximative de la coupe axiale de ces cils (photo a).

Sur la **photo a** il n'est pas possible d'identifier la nature tubulaire des doublets présents dans l'épaisseur de la coupe (voir schéma de la figure 3). La flèche (en haut à gauche) indique une zone où, suite à la courbure du cil par rapport au plan de coupe, c'est un autre doublet périphérique qui devient visible ; au même niveau, la membrane cellulaire du cil n'est plus coupée orthogonalement, et apparaît donc comme une zone grise (comme dans le schéma de la figure 3). La base des cils s'insère sur des racines ciliaires (R) juxtaposées à des mitochondries (mi) et à des éléments du réticulum endoplasmique qui, en bas à droite de la photo, paraissent superposés à une racine ciliaire : ce que l'on comprend aisément quand on imagine l'épaisseur de la coupe. Cu = fine cuticule.

La **photo b** est une image de *cryofracture* des mêmes cils : la cassure passe à l'intérieur même de la membrane cellulaire des deux cils, montrant qu'elle contient des particules intramembranaires à deux niveaux : là où le cil est en contact avec la cuticule (flèches noires : ce niveau correspond au chiffre 1 sur la photo a) ; et là où les microtubules sont en contact avec la membrane (larges flèches creuses ; chiffre 2 sur la photo a).

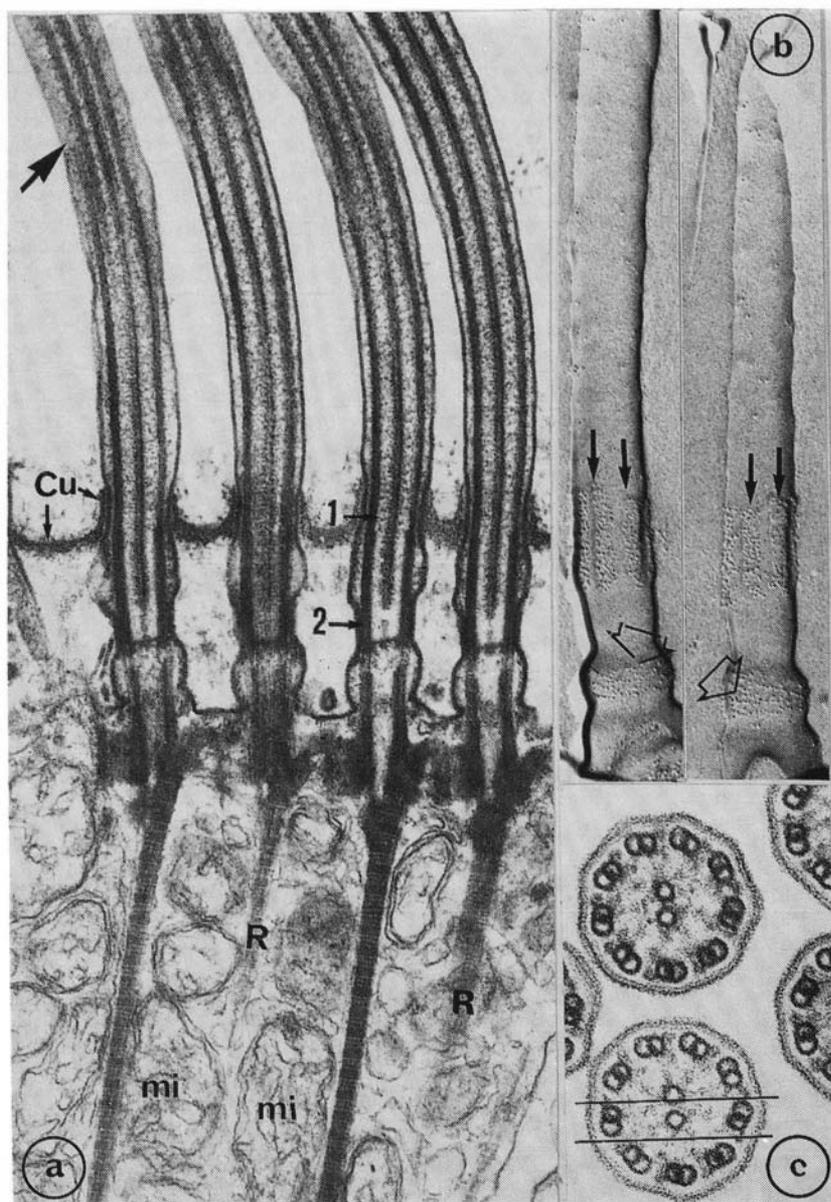


Figure 2. Microscopie électronique à transmission :
a & b - G x 40 000 ; c - G x 100 000

(Photos P. Clément). Détail des cils présentés dans la figure 1.

son image superpose toutes les structures qui ont arrêté les électrons, comme une ombre chinoise

Comme pour les coupes de microscopie optique, celles de microscopie électronique ont une épaisseur (figures 2 & 3). Ainsi une membrane cellulaire n'est observée avec netteté que si son plan est orthogonal à celui de la coupe : sa structure tri-laminaire n'est visible au fort grossissement que dans ces cas favorables. Dès que cette membrane est oblique par rapport au plan de coupe, elle apparaît comme une surface grise ; quand elle est parallèle au plan de coupe, son image disparaît sur l'électro-micrographie, alors qu'elle est bien présente dans la coupe observée (figures 2 & 3).

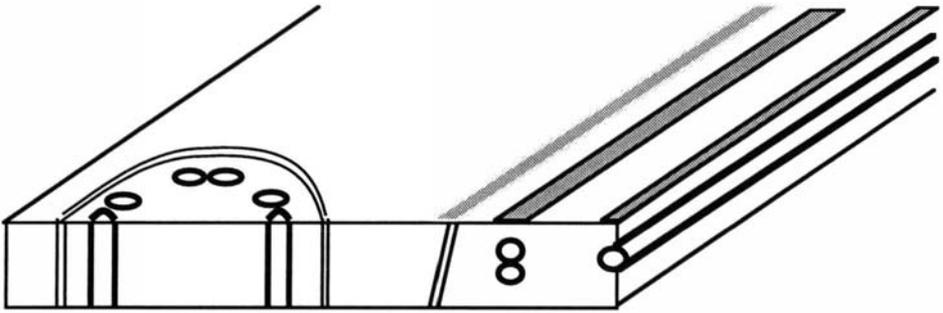


Figure 3. Portion de coupe observée en microscopie électronique à transmission

À gauche, coupe transversale d'une portion de cil (voir figure 2.c) : les doublets sont très nets sur la partie supérieure de la coupe, qui visualise ce que l'on observe au microscope ; la membrane du cil est également très nette, avec son aspect trilaminaire classique (comme dans la figure 2.c).

À droite, coupe axiale d'une portion du même type de cil : le tubule central, comme celui du doublet périphérique, n'est visible que comme une fine bandelette grise où la structure cylindrique du tubule n'est plus reconnaissable. La membrane cytoplasmique du cil n'est pas parfaitement perpendiculaire au plan de coupe : elle apparaît alors comme une bande grise qui ne permet pas d'observer sa structure trilaminaire (comme dans le haut à gauche de la photo de la figure 2.a).

• **Cryofracture et microscopie électronique à transmission**

Le fragment d'organe à observer est congelé, puis cassé : la fracture intéresse bien sûr les volumes intracellulaires ou intercellulaires, mais sa particularité intéressante est de scinder en deux lames les membranes cellulaires, et de permettre alors d'observer leur surface interne (celle qui borde le cytoplasme), ou externe (celle qui borde l'extérieur de la cellule) : elles sont plus ou moins garnies de petites bosses (ou creux) correspondant aux protéines intra-membranaires (figure 2.b).

La surface cassée est métallisée, comme pour la microscopie électronique à balayage. Mais elle est ensuite débarrassée de tout ce qui était structure vivante (avec de l'eau de Javel) et seul le fantôme métallisé superficiel est observé, par transparence en microscopie électronique à transmission, après avoir été "ombré". L'ombrage s'effectue par dépôt orienté d'un métal opaque aux électrons, qui se dépose sur un côté des bosses ou des creux. Les images ressemblent à des paysages lunaires (figure 2.b).

la surface de la structure cassée est ombrée pour rendre apparent son relief

• **Les radiographies**

La première radiographie obtenue il y a un siècle par Roentgen (1895 : la fameuse main de Mme Roentgen) eut un succès très rapide qui dépassa largement le monde scientifique (5). Il était enfin possible de voir l'intérieur du corps humain vivant sans avoir besoin d'opérer.

Les médecins travaillent sur le négatif même des radiographies, en les observant par transparence. Il y a donc une double utilisation de la transparence, où la première seule comprend un transcodage iconique : l'impression de la plaque photo par les rayons X après qu'ils aient plus ou moins traversé les parties du corps observées (selon que ces structures sont plus ou moins transparentes/opaques aux rayons X).

Est surtout opaque le squelette osseux (mais pas le cartilage) ; d'autres organes peuvent aussi être observés, avec un minimum d'habitude, les poumons par exemple. Les cavités deviennent visibles après injection de produits opaques aux rayons X : angiographies, urographies, coronarographies, ...

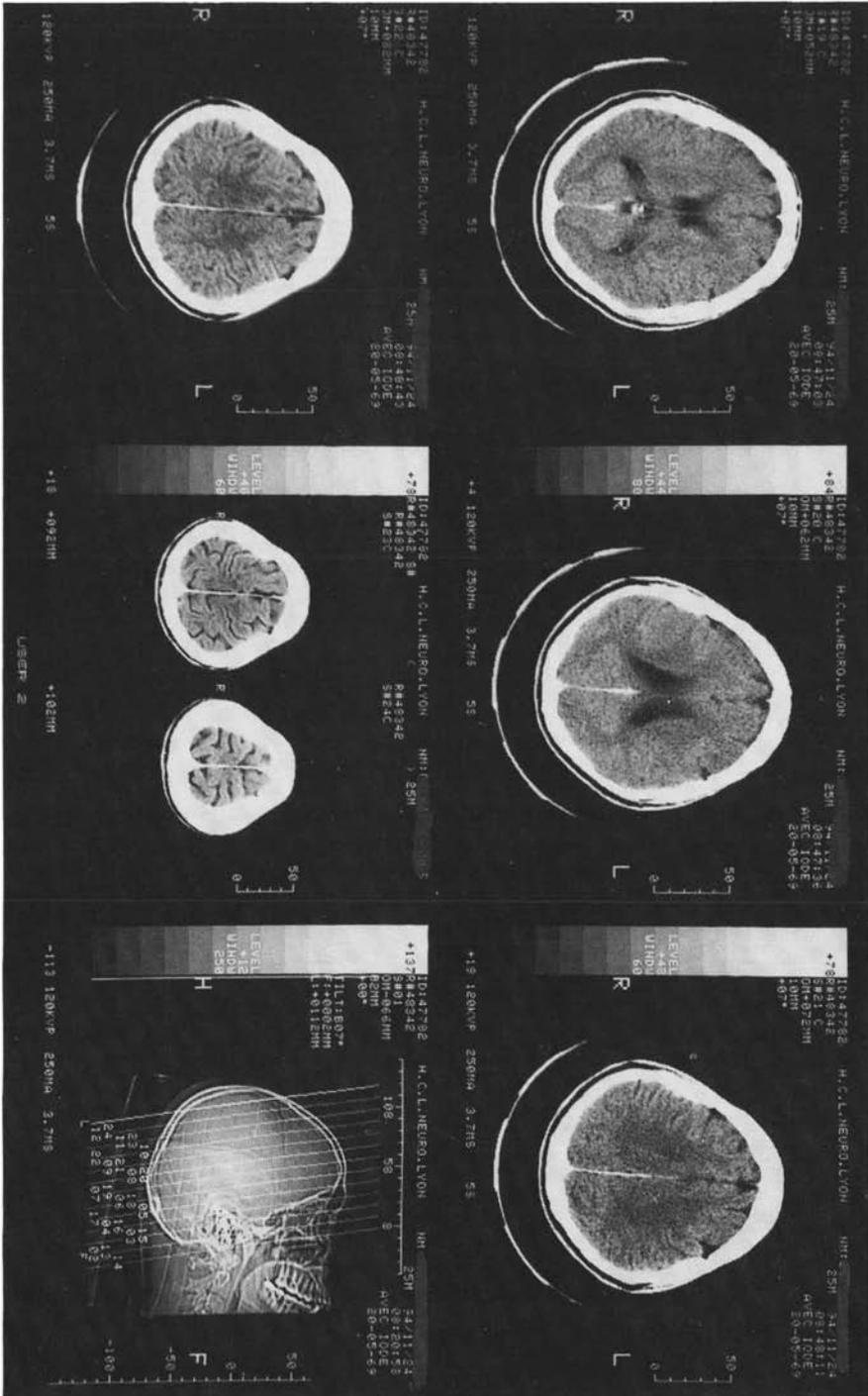
Les structures opaques aux rayons X sont projetées sur le plan de la radiographie, en étant superposées. L'art du radiologue est de trouver les bons angles avec les bonnes positions du corps, et de prendre plusieurs clichés jusqu'à pouvoir interpréter en 3D les structures observées.

• **Le scanner X**

Le scanner X, ou tomodynamomètre, a été découvert en 1972 par Hounsfield qui obtint pour cela le prix Nobel de Médecine en 1979 (6). Il permet d'observer sur des individus vivants l'anatomie de tranches successives de l'organe observé, le cerveau par exemple : ce sont des coupes tomographiques sériées, perpendiculaires à l'axe tête-pieds du sujet (figure 4).

la radiographie
superpose toutes
les structures qui
ont arrêté
les rayons X

-
- (5) Les années suivantes, dans les foires populaires, à côté de la projection des premiers films Lumière nés aussi en 1895, l'autre attraction à succès était de voir le squelette de sa main ou de son pied par radiographie. Et les mystérieux rayons X furent à l'origine de mille fantasmes de transparence : les dessins du début du siècle montrent le voleur observant les écus dans la poche du bourgeois avant de passer à l'acte, le voisin indiscret observant sa voisine à travers la cloison, etc. (Pallardy *et al.* 1989).
- (6) Selon Barat & Laurent (1992), dates confirmées par d'autres sources. À noter qu'Aubert & Laissy (1995, page 36) donnent d'autres dates : "*fin des années 1960*" et, pour le prix Nobel, "*en 1969*". Le principe de la tomographie, découvert en 1930, repose sur l'application du théorème de Thalès : en faisant subir une rotation simultanée au tube qui émet les rayons X et au film impressionné par les rayons non absorbés par les structures traversées, seules les structures situées dans le plan de rotation apparaissent nettes, les autres étant floues.



le scanner X
donne des
images
de coupes
tomographiques
où sont visibles
les structures
opaques aux
rayons X...

Dans le scanner, la source de rayons X tourne en balayant un plan de coupe de l'organe observé (une tête humaine par exemple) ; les rayons X arrivent sur plus de mille récepteurs (qui tournent en même temps) ; les signaux détectés varient en fonction de l'opacité/transparence aux rayons X des structures traversées : ils sont transcodés en signaux électriques, puis numérisés et analysés. Des algorithmes appropriés permettent ainsi à l'ordinateur de calculer la "densité" (i.e. le degré de transparence/opacité aux rayons X) de chaque pixel (voxel en fait puisqu'il s'agit d'une coupe tomographique qui a une épaisseur : voir figure 5) dans le "plan" de coupe exploré. Le pouvoir séparateur optimal du scanner X est actuellement très bon, de l'ordre de 0,3 mm. Les radiologues ont pris l'habitude de tirer sur négatif photographique les images scanner. La colorisation n'est qu'une pratique de vulgarisation, à des fins esthétiques.

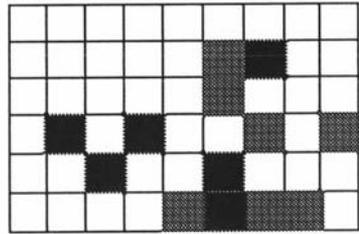
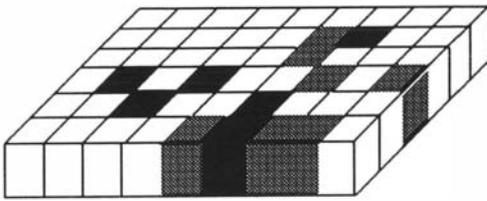


Figure 5. Portion de coupe tomographique

À gauche, schéma tridimensionnel où chaque cube élémentaire est un voxel (en fait ce ne sont pas des cubes car l'épaisseur de la coupe est supérieure à la longueur des côtés des carrés du damier). À chaque voxel correspond un niveau de gris (pour simplifier, ce schéma ne présente que trois niveaux de gris : blanc, gris et noir ; il y en a en général 256, parfois plus).

À droite, la surface numérisée, avec les pixels correspondants.

... ou encore
des images 3D

Dernier-né des scanner X, le morphomètre, dont le prototype a été conçu à Grenoble et dont n'existent encore que quelques exemplaires en France (Nantes et Lyon), permet d'obtenir directement, à partir d'algorithmes spécifiques, des images 3D très précises des structures opaques aux rayons X (figure 6).

Ci-contre : Figure 4. Scanner X - Coupes tomographiques sériées du haut de la tête

(Les négatifs correspondant à ces photos m'ont été gracieusement transmis par l'Hôpital Neuro-Cardio de Lyon, Service de Radiologie.)

En bas à gauche, une radiographie de la tête vue de profil permet de situer les plans des diverses coupes tomographiques effectuées lors de cet examen clinique. Elles sont ici assez espacées l'une de l'autre, et seules les coupes supérieures sont ici reproduites. Celles qui sont situées vers le sommet de la tête sont des coupes tangentielles dans les circonvolutions corticales, tandis que les ventricules apparaissent plus bas. Les échelles de niveaux de gris situées entre les coupes tomographiques, précisent le fenêtrage choisi pour chaque coupe, du blanc au noir.

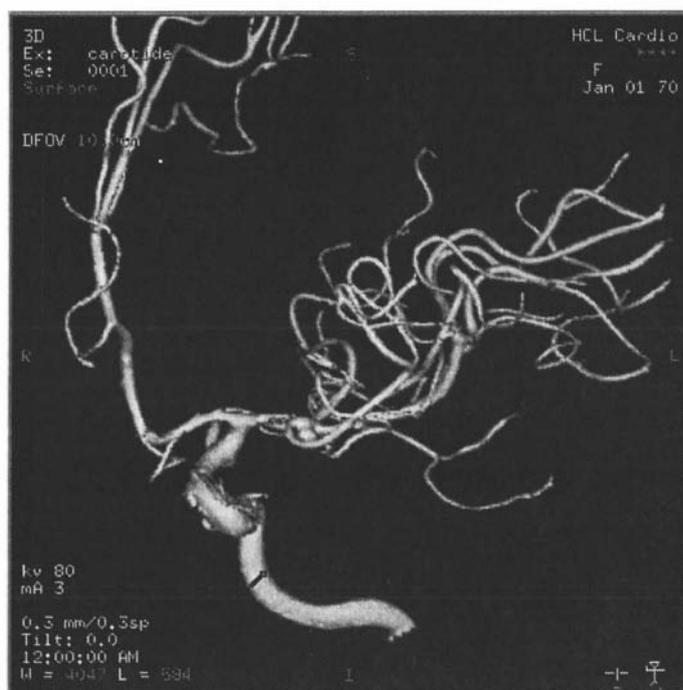


Figure 6. Scanner X - 3D = Morphomètre : angiographie 3D

(Document CREATIS, URA-CNRS 1216 et Hôpital Neuro-Cardiologique de Lyon.)

Un produit de contraste à base d'iode, opaque aux rayons X, a été injecté au patient dont la carotide et ses ramifications cérébrales sont ici présentées. L'angiographie classique aboutit à une image numérique 2D par soustraction des structures avant et après l'injection du produit opaque. Le protocole est ici le même, mais l'acquisition de l'image est d'emblée 3D, selon des algorithmes spécifiques au morphomètre. L'image numérique obtenue peut être observée sous n'importe quel angle, ce qui permet des localisations très précises. La vue choisie ici permet de voir un petit anévrisme (deux petites boules vers la base de la branche droite de la carotide).

2.3. L'émission de signaux

L'émission de signaux a d'abord été utilisée comme un complément des techniques précédentes. Par exemple, quand un animal absorbe un produit radioactif, il est ensuite possible de localiser ce produit sur des coupes anatomiques ou microscopiques : ce qui renseigne sur le métabolisme de l'organisme, des organes, ou des cellules (selon le niveau d'observation). Le même principe est à la base de toutes les familles d'imagerie médicale qui relèvent de la médecine nucléaire.

Mais d'autres familles d'imagerie fonctionnent sur le principe de la localisation de l'émission de signaux émis par l'organisme : soit pour les cartographier (EEG-MEG, thermographie), soit pour des études anatomiques fines, et depuis peu également physiologiques (IRM).

des images
fonctionnelles sur
le métabolisme
normal ou
pathologique
des organes

• **La médecine nucléaire : scintigraphie, TEP (tomographie par émission de positons)**

une scintigraphie plane superpose toutes les structures du corps qui ont émis un signal

Dès la découverte de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1934, la médecine nucléaire est née en utilisant comme traceurs des isotopes radioactifs d'éléments impliqués dans des processus du métabolisme humain, normal ou pathologique. La première image scintigraphique fut prise au milieu du siècle, visualisant de façon bien grossière une thyroïde après injection chez le patient d'iode 131 radioactif.

La scintigraphie reçut une impulsion décisive quelques années après, avec la fabrication par Anger (à Berkeley) de la première caméra à scintillations (γ -caméra) : les radioéléments injectés au malade et fixés ensuite sur des zones précises en fonction de sa pathologie devenaient localisables sur une image par la détection des rayonnements qu'ils émettent (rayonnements de très courte longueur d'onde : X spéciaux, et surtout γ).

en tomoscintigraphie, les structures qui ont émis un signal sont localisées sur une coupe tomographique

La scintigraphie plane balayait tout le corps, impressionnant ligne par ligne une pellicule photo : y étaient visualisées par exemple toutes les zones touchées par un cancer osseux sur un corps entier.

La tomoscintigraphie permet désormais d'obtenir des images fonctionnelles sur des coupes tomographiques de l'organe observé : l'image vient des émissions de rayonnements γ à partir des radio-isotopes, qui sont d'autant plus abondants que la zone a été métaboliquement active durant le temps qui sépare l'injection (ou parfois l'inhalation) du radio-isotope et l'observation : il s'agit donc d'une image fonctionnelle.

Ces images sont fréquentes dans les manuels scolaires du secondaire, notamment pour y illustrer des localisations cérébrales. Elles sont colorisées dès le départ, et ne peuvent donc pas être reproduites dans le présent article.

La plupart des équipements hospitaliers importants possèdent actuellement un équipement de tomoscintigraphie. Les observations portent sur tous les organes (cœur, foie, poumons, reins, cerveau...) pour y détecter des anomalies fonctionnelles, avec malheureusement une résolution spatiale qui reste assez médiocre (pouvoir séparateur optimal de 7 à 12 mm.).

Les coupes tomographiques sériées permettent d'obtenir des images 3D.

la T.E.P. localise aussi l'émission de signaux sur une coupe tomographique...

La tomographie d'émission de positons (T.E.P.) est la plus récente et la plus performante des techniques d'imagerie de la médecine nucléaire. Elle est basée sur la détection des rayonnements γ émis lors de l'annihilation d'un positon (7) par un électron. Les positons sont émis par des radio-isotopes particuliers qui marquent des molécules biologiques

(7) On disait initialement "positrons", mais l'Académie française a tranché pour "positons"

...mais avec
beaucoup plus
de précision

injectées aux personnes observées. Ces radio-éléments ont une durée de vie très courte, et doivent être fabriqués par un cyclotron à proximité de l'appareillage de T.E.P., ce qui limite fortement le nombre de sites fonctionnels en France : il n'y en a que trois actuellement (et environ une quarantaine dans le monde : Ter-Pogossian *et al.* 1983). Cette méthode est extrêmement sensible : des perturbations métaboliques fines peuvent être détectées, ou encore des dynamiques fonctionnelles, avec des performances irremplaçables. La construction de l'image numérique d'une coupe tomographique TEP fait appel à des algorithmes mathématiques voisins de ceux du scanner (8).

Les chercheurs travaillent sur des images colorisées (malheureusement non reproductibles ici), chaque couleur étant associée à un niveau d'intensité des rayonnements γ émis par les radio-isotopes injectés. Ils disposent de coupes sériées de l'organe étudié. L'acquisition d'images 3D est désormais possible, selon un principe identique à celui utilisé par le morphomètre (voir plus haut).

• **Cartographie de la distribution d'un indice physique sur une surface extérieure**

la thermographie
n'est plus utilisée
en imagerie
médicale

La thermographie, née en 1950 (Taugourdeau 1981), n'est plus utilisée actuellement pour des recherches ou diagnostics biomédicaux, mais elle est citée ici pour mémoire car certaines de ses images, très esthétiques, sont encore présentes dans des manuels scolaires ou dans des documents de vulgarisation. Elle établit la carte de la température à la surface du corps. Elle a par exemple pu être utilisée pour identifier des tumeurs cancéreuses (notamment du sein), mais les autres techniques d'imagerie médicale sont aujourd'hui nettement plus performantes pour cela.

La thermographie est en revanche très utilisée sur les images aériennes, prises à partir d'un avion ou d'un satellite.

Les champs électromagnétiques émis par le cerveau sont couramment cartographiés par les chercheurs à partir des informations fournies par des capteurs répartis à la surface du crâne (**E.E.G.**, **M.E.G.** = électro- et magnéto- encéphalographie). Dès 1929, Hans Berger a enregistré le premier encéphalogramme, c'est-à-dire la variation au cours du temps du potentiel électrique mesurable à partir d'un capteur placé sur le cuir chevelu (Vigreux 1992). Pour l'E.E.G., 16 à 32 électrodes de contact (dans la pratique courante ; jusqu'à 128 dans certains dispositifs récents) sont réparties

(8) Les détecteurs du rayonnement γ sont situés en couronne, de façon à capter les photons γ émis dans deux directions diamétralement opposées lors de chaque annihilation d'un positon par un électron. La répartition spatiale des radio-isotopes peut ainsi être calculée pour chaque coupe tomographique (Mazière 1987, Ter-Pogossian *et al.* 1983). La résolution spatiale est actuellement de 4 à 8 mm (4 mm étant le maximum de précision des gamma-caméras).

les signaux
électriques ou
magnétiques
émis par
les neurones
permettent de
localiser les zones
du cerveau
actives lors de
tâches précises

sur la surface du scalp, et y enregistrent en temps réel la distribution du potentiel électrique. Le protocole est identique pour la M.E.G. Ces distributions peuvent être représentées par une succession de cartes, colorisées selon des codes spécifiques, témoignant de l'évolution de l'activité cérébrale lors de l'exécution de tâches précises. Ces cartes résultent à présent d'un traitement mathématique des signaux émis, de façon à visualiser leur énergie en fonction de leur fréquence. L'analyse des signaux émis permet aussi de localiser en 3D avec une précision croissante les sources de signaux électromagnétiques dans le cerveau : cela nécessite l'utilisation de modèles (calcul des distributions possibles, et localisation par minimisation des différences avec ce qui est observé) utilisant conjointement les données électriques ou magnétiques et des données anatomiques 3D sur le même cerveau, obtenues par I.R.M. (9). L'image I.R.M. est plus précise (voir tableau 1). L'objectif, ici prioritaire, d'une plus grande précision temporelle (nombre d'images successives par seconde) nécessite de limiter la précision spatiale des E.E.G. et M.E.G. (nombre de capteurs).

• **L'I.R.M. (l'imagerie par résonance magnétique)**

l'IRM donne
les images
anatomiques
les plus précises
de coupes
tomographiques

L'année 1995 correspond au cinquantenaire de la découverte de la R.M.N. (résonance magnétique nucléaire) par F. Bloch et E.M. Purcell, qui en eurent le prix Nobel de chimie en 1947. Mais l'application à l'I.R.M. (imagerie par résonance magnétique) attendit encore un quart de siècle. Depuis, elle ne cesse de se développer. Elle complète et même remplace avantageusement dans bien des cas, le scanner X pour ce qui est anatomique (pour une comparaison de leurs performances respectives, cf. Barat & Laurent, 1992, ou Aubert & Laissy, 1995). Depuis quelques années, l'IRM fonctionnelle devient très prometteuse.

L'appareil à IRM est plus imposant encore qu'un scanner X. Le patient est placé dans un champ magnétique très intense et orienté, dans l'axe d'un grand aimant principal cylindrique, doublé à l'intérieur de bobines concentriques (de gradient, d'émission, et de réception). Aucune toxicité d'un tel champ magnétique sur le corps humain n'a été remarquée à ce jour (sauf bien sûr s'il possède un stimulateur cardiaque (10).

Le principe de l'IRM est le suivant (11) : les protons des noyaux des atomes (principalement d'hydrogène, l'eau constituant 70 % du corps humain) peuvent être assimilés à

-
- (9) Pr. Pernier, U.280 de l'INSERM, Lyon : communication personnelle ; cf. aussi le numéro spécial du "Courrier du C.N.R.S.", 1992, sur les sciences cognitives.
- (10) L'inconvénient principal semble être le bruit de l'appareil, qui conduit souvent à boucher les oreilles du patient durant la demi-heure d'observation.
- (11) Pour plus de détails sur l'IRM, voir par exemple Pykett 1983, ou Aubert & Laissy 1995 (pages 66-72).

l'IRM localise les signaux (ondes radio FM) émis, après résonance magnétique, par les ions hydrogène de l'eau du corps

images d'IRM : coupes tomographiques et 3D

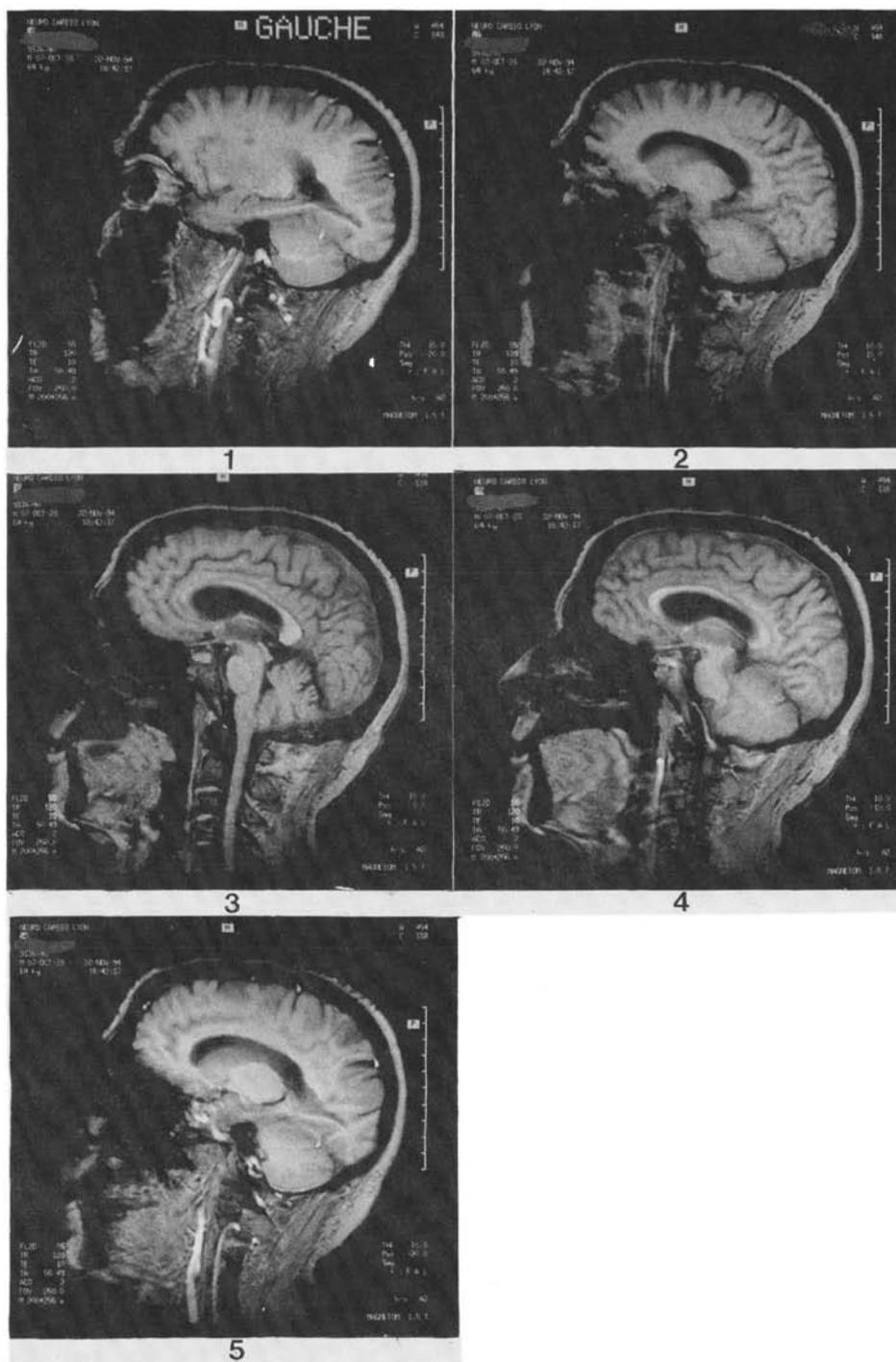
des vecteurs (appelés "dipôles magnétiques" ou "moments magnétiques nucléaires" ou "spins") d'orientation initialement aléatoire ; ces vecteurs deviennent parallèles à la direction du champ magnétique très puissant dans lequel ils sont placés. Une onde radio précise, et orthogonale au champ magnétique, fait alors entrer les protons en résonance, c'est-à-dire modifie l'orientation des vecteurs (dès lors, ils ne sont plus parallèles à l'axe du champ magnétique intense). Lorsque cette onde n'est plus émise, les dipôles retrouvent leur orientation initiale en émettant un petit signal (qui est une onde radio). L'ensemble des signaux émis est à l'origine d'une image qui différencie assez finement les structures (en fonction de leur teneur relative en hydrogène). Contrairement au scanner X, l'orientation des coupes tomographiques est libre : l'observateur peut acquérir deux ou trois séries de coupes du même cerveau, chacune ayant une orientation spatiale choisie (figure 7). Les reconstitutions 3D sont effectuées à partir de ces séries de coupes (figure 8).

Comme pour le scanner X, les médecins radiologues ont conservé l'habitude de travailler sur des tirages négatifs où sont juxtaposées les "coupes" sériées (figure 7), pour les observer par transparence comme des radiographies classiques. Seules les images diffusées auprès du grand public sont colorisées (revues scientifiques, mais aussi manuels scolaires).

Ci-contre : Figure 7. I.R.M. (Imagerie par résonance magnétique) : coupes tomographiques sériées de la tête

(Les négatifs correspondant à ces photos m'ont été gracieusement transmis par l'Hôpital Neuro-Cardio de Lyon, Service de Radiologie.)

L'image classiquement reproduite dans tous les manuels scolaires de classe de Troisième, est à peu près intermédiaire entre la troisième et la quatrième photo de la série présentée ici, montrant une coupe axiale du bulbe rachidien et de la moelle épinière (photo 3) et une coupe axiale du nez (photo 4). La présentation simultanée de coupes sériées permet de comprendre que chacune d'elles a une épaisseur. Les images IRM sont assez précises sur le plan anatomique ; il est par exemple possible de distinguer la substance blanche et la substance grise du cortex cérébral. La photo 1 permet de voir les muscles oculaires de l'œil gauche.



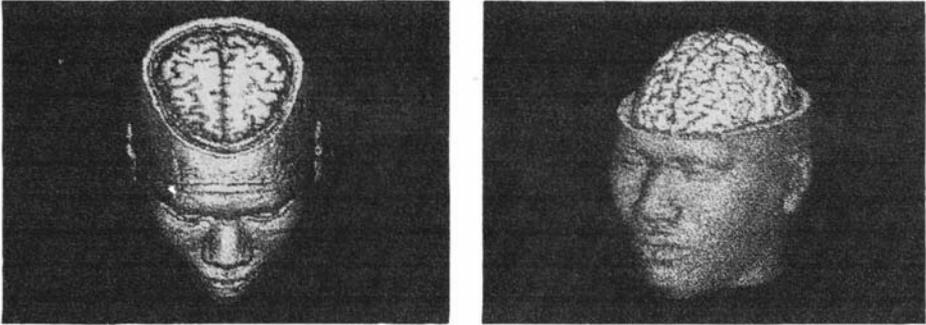


Figure 8. IRM-3D : reconstitution 3D d'une tête

Il s'agit de la tête du violoniste Vinh Pham, dans le film "Un violon dans la tête" de Edelman et Privat (images d'après Edelman 1994).

Il est possible de reconstituer des images 3D aussi précises que celles-ci à partir d'un grand nombre de coupes tomographiques sériées. Le plan de ces coupes est ici orthogonal à celui des images de la figure 7.

l'IRM fonctionnelle commence à donner des images du fonctionnement normal ou pathologique des organes

L'IRM fonctionnelle ne se développe que depuis peu de temps, à la suite des progrès de la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (qui permet d'identifier des substances précises sur des structures vivantes : Shulman 1983). Il devient actuellement possible de cartographier les zones cérébrales impliquées dans certaines tâches d'activation neuro-sensorielles (par mesure de l'augmentation du débit sanguin). Cette technique récente ouvre de nouvelles voies pour l'imagerie fonctionnelle jusqu'ici explorée par les diverses méthodes de la médecine nucléaire (cf. plus haut), mais elle ne fonctionne pour l'instant qu'expérimentalement dans des laboratoires de recherche. L'image fonctionnelle, paramétrée, est incrustée *in fine* sur une image IRM classique (voir par exemple Shaywitz *et al.*, 1995). L'objectif étant d'observer une dynamique fonctionnelle avec une résolution temporelle optimale, la résolution spatiale reste actuellement assez grossière (3 à 10 mm.).

3. BILAN (TABLEAUX 1 & 2) ET HYPOTHÈSES SUR LES OBSTACLES

3.1. Bilan du chapitre 2.

Le tableau 1 synthétise certaines des informations présentées dans le chapitre 2.

Les deux colonnes de gauche correspondent aux catégorisations habituelles des images biomédicales. Même à partir des signaux physiques qui sont à l'origine de l'image (deuxième colonne), il y a encore 8 catégories, et ces concepts physiques ne sont abordés qu'à la fin de l'enseignement secondaire.

<i>Type d'imagerie biomédicale</i>	<i>Nature du phénomène physique</i>	<i>(grossissement) pouvoir séparateur</i>	<i>Type de mécanisme</i>	<i>Objet observé</i>	<i>Type d'image obtenu</i>
Œil nu, loupe, photo, caméra, endoscopie	Rayonnement visible	(1 à 400) < 1 mm pour l'endoscopie	RÉFLEXION (parfois transparence / opacité)	vivant ou non surface 3D (épaisseurs si transparence)	films, photos, dessins, couleur ou N/B
Microscopie optique	Rayonnement visible	(10 à 3000) 1 μ m	TRANSPARENCE / OPACITÉ	en général coupes de 1 à 20 μ m d'épaisseur	films, photos, dessins, couleur ou N/B
Microscopie électronique (M.E.) transmission	Électrons	(50 à 500 000) 0,2 nm	TRANSPARENCE / OPACITÉ	coupes de 50 à 100 nm d'épaisseur	photos N/B
M.E. cryofracture	Électrons	idem	TRANSPARENCE / OPACITÉ	surface métallisée "ombrée"	photos N/B
M.E. balayage	Électrons	(10 à 200 000) 5 nm	ÉMISSION (apparence de réflexion)	surface 3D	photos N/B
Radiographie	Rayonnement X	0,2 mm	TRANSPARENCE / OPACITÉ	vivant : 3D (toute son épaisseur)	négatifs de photos N/B
Scanner X	Rayonnement X	\geq 0,3 mm	TRANSPARENCE / OPACITÉ	vivant : coupe tomographique	image numérique 2D ou 3D (morphomètre)
Tomoscintigraphie	Rayonnement γ	7 à 12 mm	ÉMISSION	vivant : coupe tomographique	image numérique 2D fonctionnelle (parfois 3D)
T.E.P. (tomographie par émission de positons)	Rayonnement γ	4 à 8 mm	ÉMISSION	vivant : coupe tomographique	image numérique 2D fonctionnelle (parfois 3D)
I.R.M. (Imagerie par résonance magnétique) IRM fonctionnelle	Ondes radio	0,5 à 1 mm (sites hospitaliers) sinon jusqu'à 0,05 mm. 3 à 10 mm en IRM fonctionnelle	ÉMISSION	vivant : coupe tomographique <i>comparaison de plusieurs coupes</i>	image numérique 2D ou 3D, anatomique ou image 2D paramétrique fonctionnelle
EEG, MEG (Électro- et Magnéto-encéphalographie)	Champs électromagnétiques	10 mm (MEG) à 20 mm (EEG)	ÉMISSION	vivant : surface extérieure	image numérique 2D (cartographie) ou paramétrée 3D (localisation)
Thermographie (pour mémoire, car n'est plus utilisée)	Rayonnement infra-rouge	environ 20 mm	ÉMISSION	vivant : surface extérieure	image numérique 2D (cartographie)
Échographie	Ultrasons 3,5 Méga Hertz : 7,5 Méga Hertz : (100 Méga Hertz) :	2 à 3 mm 0,5 à 1 mm. (0,05 mm.)	RÉFLEXION	vivant : coupe tomographique	image numérique 2D ou 3D

Tableau 1. Comparaison succincte des principales familles d'imagerie biomédicale

trois notions
structurantes...

L'objectif du présent travail est de montrer que des notions scientifiques plus transversales permettent de catégoriser cette diversité d'imageries (les trois notions de la colonne centrale : réflexion, transparence/opacité et émission de signaux) tout en étant susceptibles d'apprentissages scolaires dès le primaire et même la maternelle.

La troisième colonne du tableau 1 récapitule des données sur les performances relatives de chaque famille d'imagerie biomédicale. Les perspectives de l'imagerie médicale sont à peu près celles qu'avaient déjà l'anatomie fonctionnelle et la cyto- et histo-physiologie, mais désormais sur des êtres vivants : c'est pour cela qu'il m'a semblé nécessaire de traiter en même temps l'ensemble de ces techniques et images dans le présent texte.

Les deux colonnes de droite montrent que l'aspect des images renvoie à un deuxième ensemble de notions structurantes, ce qui permet de construire le tableau 2.

	Surfaces 3D d'objets	Structures superposées vues par transparence	Coupes tomographiques (voxels → pixels)
RÉFLEXION	Œil nu, loupe, photos... Microscopie électronique à balayage Reconstructions 3D en échographie		Échographie
TRANSPARENCE / OPACITÉ	Cryofracture Reconstructions 3D au scanner (morphomètre)	Œil nu, loupe, photos Microscopie optique Microscopie électronique à transmission Radiographies Scintigraphie plane	Scanner X
ÉMISSION DE SIGNAUX	Thermographie Reconstructions 3D en tomoscintigraphie, TEP, IRM, EEG / MEG		Tomoscintigraphie TEP (tomographie par émission de positons) IRM (imagerie par résonance magnétique)

Tableau 2. Classification des diverses familles d'imagerie biomédicale en fonction des deux types de notions structurantes qui émergent de l'analyse du tableau 1

Les trois colonnes du tableau 2 concernent la problématique 2D / 3D.

- Dans la colonne de gauche, les images de surfaces 3D sont soit ombrées naturellement (œil nu, loupe, photo, microscopie électronique à balayage) ; soit ombrées par un dépôt métallique oblique déposé antérieurement à l'obtention de l'image (cryofracture) ; soit ombrées informatiquement après

... et trois façons
de traduire
des volumes

la reconstitution de la surface 3D (toutes les imageries médicales 3D).

- Dans la colonne centrale, l'image 2D superpose tout ce qui est vu par transparence dans le volume 3D observé. La superposition est d'autant moindre que ce volume est plat (coupes fines) ; mais explorer des volumes plus importants est parfois intéressant (12).

- Dans la colonne de droite, il s'agit des images numériques de coupes tomographiques (figure 5).

3.2. Hypothèses sur les obstacles à la compréhension de ces images

images du squelette : confusions entre radiographie et vision 3D

Les enquêtes que nous avons menées auprès de futurs professeurs d'école (Fisseux 1995 ; Fisseux et Clément en préparation) montrent que la notion de transparence/opacité n'est que très rarement mobilisée lors de la lecture de radiographies. La plupart de ces enseignants débutants confondent les divers niveaux de gris d'une radiographie avec l'ombrage d'un volume ; ils n'ont pas compris que les images radio des structures osseuses qui leur sont présentées (nous avons choisi de travailler sur des radios de main) sont le résultat de différents degrés d'opacité de ces structures aux rayons X.

l'imagerie médicale fascine mais reste magique

En ce qui concerne le scanner X, la scintigraphie ou l'IRM, nos travaux préliminaires montrent que les problèmes sont encore plus importants : l'image est un peu magique ; les principes qui permettent d'observer une coupe tomographique de cerveau vivant sont inconnus ; et même chez des étudiants en médecine, les principes de la RMN (résonance magnétique nucléaire), pourtant au programme, sont vite oubliés. Seul le principe de base de l'échographie est plus souvent compris, par la comparaison avec l'écho.

En revanche, il y a une attirance réelle pour ces images, une fascination même (Clément *et al.*, 1994, Clément 1995) qui mêle l'attrait esthétique à la non compréhension ; ainsi qu'à l'admiration des scientifiques et médecins qui, eux, comprennent. Admiration d'autant plus importante que ces images nous concernent : il peut s'agir de notre corps, de notre santé, ou de celle d'un proche. Elles témoignent ainsi de la supériorité des spécialistes scientifiques, de la distance entre leurs savoirs spécialisés et nos propres connaissances de citoyen ou de malade : cette science admirable est hors d'atteinte, mise en vitrine pour reprendre l'expression de Roqueplo (1972).

Cette double attitude d'implication affective et de distanciation cognitive par rapport à ces images constitue sans doute le premier obstacle à leur utilisation scolaire :

(12) Certains microscopes électroniques (à protons) permettent ainsi, sous de très forts voltages, d'observer des coupes relativement épaisses, pour visualiser la projection 2D du volume de certains organites cellulaires.

la compréhension de l'imagerie médicale n'est pas réservée aux médecins ni aux chercheurs !

cette imagerie serait trop compliquée et réservée aux médecins spécialistes. Cet obstacle fonctionne autant pour les enseignants que pour les élèves.

Le projet du présent travail est justement d'explorer si cet obstacle fondamental ne peut pas être retourné, et utilisé : en profitant de la motivation vis-à-vis de ces images pour les introduire comme moyens ou finalités de stratégies pédagogiques ; et en luttant contre le découragement *a priori* des enseignants et étudiants face à leur complexité en soulignant qu'elles se rattachent à un petit nombre de problèmes et de phénomènes qui peuvent être l'objet d'enseignements précoces puis de renforcements qui arment l'apprenant pour qu'il ne soit plus désorienté face à elles.

4. PROPOSITION D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

4.1. Ombres chinoises

Un premier obstacle relatif à la transparence/opacité vient de la superposition, sur le plan de la radiographie, de plusieurs structures opaques aux rayons X. Ce problème est généralisable à toutes les observations par transparence (colonne centrale du tableau 2), et ma longue expérience d'enseignement universitaire en cytologie et histologie me l'a confirmé pour toutes les observations en microscopie optique ou électronique.

une familiarisation précoce aux ombres chinoises favorisera la compréhension des radiographies et d'autres images biomédicales

Or c'est aussi le problème classique de l'interprétation d'ombres chinoises. L'idée suggérée ici est donc qu'une familiarisation précoce avec le jeu des ombres chinoises favorisera la compréhension des images de radiographie, mais aussi d'autres images biologiques ou médicales fondées sur la transparence/opacité : observations en microscopie optique, ou en microscopie électronique.

Certes ces activités sur les ombres chinoises auront aussi à tenir compte des recherches de didactique sur la lumière et l'ombre : Lacroix (1994) a bien montré que les ombres sont réifiées par les élèves, et que les notions de source lumineuse, rayons lumineux, absorption et opacité, et d'onbrage enfin, sont difficiles à mettre en place.

Je ne veux pas détailler ici les activités scolaires possibles avec des ombres chinoises, que chaque enseignant aura à imaginer en fonction de son propre programme, mais juste signaler certaines perspectives qui restent à adapter et compléter en fonction de l'âge des élèves et du contexte d'enseignement. Par exemple une activité collective pour monter une pièce de théâtre d'ombres projetées sur un grand drap. La projection d'un squelette humain (l'IUFM ou l'Université en ont, ainsi que les lycées ...) ou de son substitut en carton (commercialisé depuis peu) permettrait de visualiser ses différentes images en ombres chinoises. Le prétexte du jeu est à inventer par l'enseignant ; il peut aller du tout littéraire au

théâtre d'ombres
chinoises

tout médical. L'objectif pédagogique qui concerne notre propos actuel est que les élèves identifient les différentes projections 2D possibles d'un squelette 3D, en comprenant les superpositions inévitables et en choisissant les angles les plus favorables par rapport à leur projet (ce projet pourrait par exemple être de construire des silhouettes articulées de squelettes en 2D, pour réaliser un théâtre d'ombres chinoises en l'absence d'un squelette 3D).

Des activités individuelles (ou en plus petits groupes) sont aussi possibles : construire un petit écran en tissu ou papier calque, y projeter les ombres de différents objets, préparer des images 2D découpées qui puissent se substituer à des objets 3D pour former le même type d'images sur l'écran. L'ensemble peut être fixe ou animé. Dès le plus jeune âge, des collages sur une feuille de papier calque, observés ensuite par transparence, sont déjà des familiarisations structurantes.

jeux sur
la transparence
avec divers
niveaux de gris
(calques
superposés, fleurs
séchées...)

Un second obstacle vient de la difficulté à concevoir des degrés divers de transparence/opacité aux rayons X, et à interpréter des niveaux de gris sans les confondre avec des ombrages classiques de reliefs (par réflexion des rayonnements lumineux). Les activités précédentes sont le plus souvent binarisées noir ou blanc. Il ne serait donc pas inutile d'y introduire des objets qui ne sont pas totalement opaques aux rayons lumineux, pour observer des ombres chinoises en différents niveaux de gris : tout objet en verre ou plastique transparent, ou encore des formes découpées dans du papier calque et plus ou moins superposées. Il est à souligner que la superposition de feuilles de papier calque permet d'obtenir tous les niveaux de gris souhaités lors d'une observation par transparence ; il est aussi possible d'y superposer des végétaux séchés (feuilles, fleurs, mousses, algues...), qui peuvent aussi être inclus dans de la pâte à papier pour réaliser des abat-jour : de façon générale, toute réalisation d'objets à observer par transparence peut être formatrice.

Rappelons que l'objectif est que l'enfant interprète différents niveaux de gris en termes de différents niveaux de transparence/opacité aux rayons lumineux, pour ne pas commettre les erreurs d'interprétation dont nous avons noté la fréquence effarante chez des futurs professeurs d'école. Il s'agit par exemple de comprendre que l'image plus blanche (sur négatif) du squelette du coude vient de la superposition d'os, ou que le contour plus blanc de l'humérus vient de la forme cylindrique de cet os long : les rayons X traversent une plus grande épaisseur d'os sur sa périphérie.

Certes, toutes les activités scolaires que je viens d'évoquer concernent des images où plus une structure est opaque, plus elle est sombre sur l'image. Alors que c'est l'inverse sur les radiographies puisqu'elles sont observées sur négatifs photos. Le passage du positif au négatif est un pas supplémentaire dans la stratégie pédagogique proposée : par

ateliers photo

exemple en photographiant en noir et blanc les écrans fabriqués à partir de calques superposés (ou de plantes) et observés par transparence : un travail sur ces négatifs photo (utilisant un projecteur à diapositives) permet ainsi de visualiser l'inversion des niveaux de gris par rapport aux originaux observés par transparence : comme sur les négatifs des radiographies habituelles.

De façon plus générale, tout travail photographique (noir et blanc) peut être en soi une introduction aux notions de transparence/opacité, puisque le négatif est observé par transparence : c'est alors le seul tirage sur papier des négatifs qui fait appel à la notion de transparence/opacité.

jeux et travaux
à partir de vraies
radiographies

Est-il besoin de le préciser ? Un travail direct avec des vraies radiographies est possible dès le plus jeune âge (fin de la maternelle, primaire), et peut introduire, accompagner, ou couronner les activités qui viennent d'être suggérées. Un médecin peut être invité à l'école dans cette perspective, à la fois pour motiver les élèves (liens avec la vie quotidienne) et pour présenter la pratique de la radiologie ainsi que pour répondre aux questions (cela se pratique déjà dans plusieurs écoles).

Ces mises en place précoces de notions de base sur la transparence/opacité seront très utiles ultérieurement pour toutes les observations par transparence, tant en microscopie optique qu'en microscopie électronique : pour comprendre la nécessité de coupes d'épaisseur appropriée, l'incidence de l'épaisseur de la coupe sur ce qui est observé, et, en résumé, que l'image d'une coupe est la projection 2D des structures 3D présentes dans l'épaisseur de la coupe.

Par exemple, un jeu sur les ombres chinoises d'une vitre montre que son ombre varie selon son orientation : d'un trait net si la vitre est dans l'axe des rayons lumineux, son image disparaît quand elle est perpendiculaire aux rayons (sauf pour les contours : l'image disparaît réellement si ces contours sortent de l'écran où sont projetées les ombres chinoises). C'est exactement ce qui est observé pour les membranes cellulaires sur toutes les photos de microscopie électronique à transmission (cf. plus haut : figure 3).

4.2. La mosaïque avant l'informatique (pixels et voxels)

Récapitulant toutes les techniques d'imagerie présentées dans la partie 2 de ce texte, les tableaux 1 et 2 montrent que les techniques les plus modernes et les plus performantes d'imagerie médicale visualisent des "coupes tomographiques" qui à la fois ont une épaisseur et sont discrétisées en pixels, chaque pixel représentant la densité du signal d'un voxel (unité élémentaire 3D de la coupe tomographique : figure 5). Des activités simples peuvent aider les élèves à conceptualiser précocement de telles notions.

la mosaïque traditionnelle comme une introduction à l'image numérisée

La mosaïque traditionnelle (13) constitue une excellente préparation à la discrétisation en pixels de toute image numérique. À condition d'avoir des carreaux de même taille, et que chaque carreau ait une surface de couleur (ou niveau de gris) homogène, les mécanismes de construction d'une image en mosaïque sont très voisins de ceux de la numérisation d'une image et de sa visualisation sur un écran d'ordinateur. L'élève pourra s'en convaincre dès qu'il pourra manipuler un ordinateur, en grossissant une image pour la travailler pixel par pixel. Et tout travail sur ordinateur créant ou modifiant ainsi des images sera une bonne familiarisation avec les images numériques biomédicales.

certaines mosaïques (en cubes de verre coloré) comme analogue des coupes tomographiques

Passer de l'image 2D d'une mosaïque, dont on n'observe que la surface, à une mosaïque qui correspond plus à ce qu'est une coupe tomographique, nécessite d'innover. L'équivalent du voxel est alors un petit cube d'un niveau de gris donné (ou d'une couleur donnée) ; il sera plus analogue encore à un voxel s'il est un peu transparent, de façon à montrer que c'est l'ensemble de son volume qui est contrasté ou coloré de la même façon. L'agencement de ces divers cubes, qui ont tous la même taille, forme une image mosaïque homogène dans son épaisseur, et qui peut être observée aussi bien par en dessus que par en dessous, et même dans son épaisseur si les petits cubes sont assez transparents pour révéler l'homogénéité de leur constitution : c'est un bon analogue d'une coupe tomographique (figure 5).

re-discrétisation spatiale, sur écran informatique ou en mosaïque

Ces jeux peuvent comporter une phase de rediscrétisation spatiale : d'une image initiale en tout petits cubes noirs ou blancs, l'élève doit construire une image avec des carreaux correspondant chacun à 4 petits cubes initiaux. Ces carreaux sont par exemple de 5 types, du blanc au noir avec trois niveaux de gris intermédiaires, selon qu'ils correspondent respectivement à 0, 1, 2, 3 ou 4 petits cubes noirs initiaux. Ceci est une introduction active à la notion de différents niveaux de gris, ainsi qu'à la notion de discrétisation spatiale d'une image numérique et à la possibilité de définir des pixels de taille différente pour une même image, dont l'aspect s'en trouve bien sûr modifié. Toutes ces opérations sont plus faciles et rapides sur ordinateur, avec un

(13) Ou le pointillisme en peinture ; ou encore le tissage de perles : dans ce dernier cas, sont introduites des contraintes supplémentaires par rapport à une juxtaposition de cubes qui, eux, restent toujours individuellement interchangeables comme des pixels sur un écran d'ordinateur. La peinture en points juxtaposés permet ces changements, mais élimine en revanche certaines contraintes des pixels : taille identique des points, et leur alignement en damier. Des jeux pour petits enfants (tels que le damier troué dans lequel ils enfoncent des sortes de champignons en plastique et de couleurs variées) introduisent de telles contraintes. Ces exemples sont loin d'être exhaustifs : selon l'âge des élèves, l'enseignant n'a que l'embarras du choix ; et les diverses méthodes ne sont pas exclusives l'une de l'autre : elles peuvent se renforcer pour que l'élève comprenne bien les différentes notions liées à la discrétisation spatiale d'une image.

petit logiciel approprié, mais aussi avec le risque d'être un peu magiques pour l'élève. Les deux types d'approches (artisanale et informatique) me semblent complémentaires.

4.3. Cartographies

Toutes les activités de cartographies sont de bonnes introductions à l'imagerie biomédicale qui visualise la répartition de signaux soit à la surface de l'organe observé, soit dans son épaisseur par une coupe tomographique.

En complément de la réalisation de cartes en relief, qui s'apparente aux activités de coupes sériées décrites plus loin, l'idée de la cartographie est d'établir des correspondances entre des mesures précises (l'altitude) et une échelle de niveaux de gris ou de couleurs arbitraires. Dans les cartographies biomédicales, les principes restent les mêmes, mais l'indice mesuré est différent (température pour les thermographies, caractéristiques du signal magnétique ou électrique dans les MEG ou EEG, degré d'opacité aux rayons X dans une coupe tomographique observée au scanner, intensité des ondes radio émises par une coupe tomographique en IRM, intensité du rayonnement γ émis dans les scintigraphies ou lors de la TEP).

Il serait intéressant que plusieurs photos ou cartes correspondent au même paysage visualisé différemment en fonction des indices photographiés ou cartographiés. Les photos prises par satellite en infrarouge en sont un exemple, mais plus immédiate est la compréhension d'une photo aérienne prise de nuit. Les signaux lumineux émis sont en effet cartographiables, avec interprétation des sources lumineuses photographiées (ville, village, hameau, réseau routier ou autoroutier, densité de la circulation automobile, etc.). Les mêmes mécanismes et démarches sont à la base de la scintigraphie ou de la TEP (tomographie par émission de positons), sauf qu'il s'agit d'émission de rayons γ , et non de lumières visibles.

Le principe de la superposition de plusieurs images, qui est en œuvre dans nombre d'imageries médicales (IRM fonctionnelle et IRM classique ; EEG ou MEG et IRM ; etc.) pourrait également être abordé, avec les problèmes inhérents à toute superposition (même angle de vue, même grossissement, même cadrage à partir de l'identification de points de repères). Ces problèmes seraient ici posés à partir de la superposition de photos aériennes prises de jour et de nuit, et de ces photos avec une carte détaillée. Pour des élèves bien âgés, l'informatisation de ces opérations renouvelle bien sûr ces perspectives, avec des possibilités de travailler ces images sur micro-ordinateur (grossissements, mais aussi autres ajustements liés à l'angle de prise de vue, et possibilités *in fine* de superposer ces images par incrustation).

certaines
cartographies
géographiques
introduisent aux
cartographies
biomédicales

superposer
des cartes qui
donnent
des informations
complémentaires

4.4. Coupes sériées

La technique des coupes est aussi ancienne que l'anatomie : une simple coupe axiale de rein, de cœur ou de cerveau nous renseigne déjà sur leur anatomie interne, tout en présentant l'avantage de situer parfaitement le plan de coupe par rapport à l'organe entier.

Les coupes sériées anatomiques ont ensuite été utilisées pour analyser l'anatomie interne de ces organes ; et les musées d'anatomie (tels que le Musée Testut-Latarjet de l'Université Claude Bernard - Lyon 1, secteur Santé) présentent d'étonnantes tranches successives d'organes humains. Plus récemment, c'est à partir de coupes anatomiques sériées du cerveau qu'ont été construites par ordinateur les images 3D du cerveau largement popularisées dans des documents et films scientifiques (des algorithmes permettent, après numérisation des contours et superposition correcte des images, d'obtenir ces reconstitutions 3D, puis de les faire tourner et de les observer sous n'importe quel angle).

L'histologie et l'embryologie travaillent aussi beaucoup à partir de coupes sériées. Mais elles sont juxtaposées sur une ou plusieurs lames à observer par transparence au microscope, et l'évidence de leur épaisseur disparaît. L'élève ou l'étudiant qui les observe a le plus grand mal à concevoir les structures tridimensionnelles correspondantes, et à imaginer l'orientation du plan de ces coupes (Ndiaye 1990, Clément et Ndiaye 1995). Dans les travaux pratiques universitaires, nous proposons à l'étudiant des documents 3D (par exemple des images prises au faible grossissement du microscope électronique à balayage, ou, à défaut, des schémas 3D) pour qu'ils puissent y situer le plan des coupes qu'ils observent. Quand l'effectif des étudiants et l'équipement de la salle l'ont permis, nous leur avons fait reconstruire manuellement des structures 3D avec un "projectina", c'est-à-dire en projetant l'image de la coupe sur un verre dépoli, puis en dessinant sur papier calque les contours intéressants ; en répétant ce travail sur toutes les coupes, puis en superposant les papiers calques, on reconstitue une projection 2D du volume de l'organe observé. Ce travail est désormais moins frustrant quand il est effectué sur écran d'ordinateur, les algorithmes appropriés permettant d'avoir à la fin une reconstruction 3D de l'organe qui peut être observée sous n'importe quel angle (Clément et Ndiaye 1995) : mais le problème de l'équipement des salles de T.P. demeure.

Quand les médecins observent des coupes sériées de cerveau obtenues par scanner X ou par IRM (figures 4 et 7), ils disposent toujours d'un topogramme construit par l'ordinateur et reproduit dans un coin de la planche photos des coupes sériées (figure 4) : il s'agit d'un schéma où, sur le profil de la tête du patient (une radiographie classique), sont indiqués les plans de coupe, pour situer leur orientation,

dessiner des coupes sériées pour visualiser des structures 3D : du travail artisanal (calques superposés) au travail informatique (image 3D qui tourne)

les manuels scolaires ne font pas comprendre que leurs images médicales de scanner, IRM, scintigraphies... sont des images de coupes tomographiques

leur emplacement et leur espacement. Mais ce type de schéma n'est qu'exceptionnellement reproduit dans les manuels scolaires à côté des images, qui ne montrent qu'une seule coupe tomographique : les élèves ont donc des problèmes légitimes pour situer le plan de coupe qui leur est présenté.

Il est pourtant possible, désormais, de reconstituer des images 3D à partir de la numérisation des images de coupes tomographiques sériées, ceci pour la plupart des techniques d'imagerie médicale présentées plus haut : soit en obtenant une reconstitution anatomique de l'ensemble de l'organe (le cerveau par exemple), soit pour situer une des coupes tomographiques sur l'organe entier, comme si celui-ci avait été sectionné (figure 8). Les manuels scolaires pourront donc à l'avenir choisir de telles coupes en situation 3D dans leur iconographie : les documents de vulgarisation le proposent déjà parfois à leurs lecteurs (figure 8).

À côté de ces suggestions de présentation des images de coupes tomographiques dans les manuels scolaires, des activités ludiques restent à imaginer. L'idée est ici de reconstruire par exemple un cerveau 3D à partir de la superposition de coupes tomographiques sériées au préalable découpées dans du matériel transparent (plexiglas) ayant l'épaisseur de chaque coupe. Il est facile de se procurer les images de coupes sériées (sur négatifs photos) dans les services radiologie des hôpitaux, en faisant disparaître bien sûr le nom du malade pour des raisons éthiques évidentes : figures 4 et 7). L'épaisseur de l'empilement doit correspondre à l'épaisseur du cerveau (calculée d'après le grossissement des images), avec autant de plaques qu'il y a d'images de coupes sériées du cerveau. Ces plaques peuvent être reliées entre elles par un axe métallique vertical, situé dans le coin supérieur gauche de chaque rectangle, de façon à ce qu'il soit possible de faire sortir une des plaques de l'empilement en la faisant pivoter autour de l'axe. La difficulté est de bien centrer chaque image, en prenant des repères par rapport à l'image précédente et par rapport à l'image suivante, pour que la superposition donne le volume de l'organe observé. Le résultat est un cerveau 3D, vu dans la transparence des plaques bien superposées, mais dont on peut extraire à volonté une coupe tomographique, en comprenant bien alors qu'elle correspond à un volume, une tranche de cerveau.

proposition de jeux reconstituant un cerveau 3D à partir de coupes sériées qui sont des mosaïques construites par les élèves

Deux modalités de reconstruction du cerveau 3D sont envisageables.

- Une à partir d'un empilement de plaques plexiglas rectangulaires sur lesquelles les élèves collent l'image négative (après l'avoir découpée) d'une coupe tomographique.
- Une solution où le volume même du plexiglas contient l'information de chaque coupe tomographique. En effet, dans le montage précédent (qui a l'avantage d'être assez facile à réaliser), l'image reste 2D (avec la seule épaisseur du négatif

photo) : elle serait ici 3D. En attendant des kits dont la commercialisation reste concevable, une solution collective peut être mise en œuvre dans une classe : chaque groupe d'élèves fabrique une mosaïque de coupe tomographique de cerveau (voir ci-dessus ; pour servir de modèle, chaque image de coupe tomographique de cerveau doit auparavant être numérisée, discrétisée en un nombre de pixels assez faible, et agrandie : elle ressemble alors à une mosaïque en différents niveaux de gris). La réalisation de chaque mosaïque demande autant de méticulosité que pour un puzzle ; quand elle est réalisée, l'enseignant la valide (des corrections restent possibles), puis elle est encollée pour former une plaque rigide. Et la superposition de ces plaques donne un cerveau 3D, facilement sectionnable pour observer sa structure telle qu'on peut la voir en imagerie médicale.

De telles activités créent bien sûr des motivations pour apprendre l'anatomie du cerveau (l'aide d'autres documents est la bienvenue) ; elles matérialisent et font bien comprendre ce qu'est une image numérique (et ses pixels), ce qu'est une coupe tomographique (et ses voxels) ; elles introduisent aux principes de l'imagerie médicale moderne.

4.5. Autres méthodes pour créer du relief à partir d'images 2D

Deux autres méthodes sont utilisées dans l'imagerie biomédicale présentée plus haut (chapitre 2), pour donner du relief à des images 2D ; je listerai ensuite d'autres méthodes d'imagerie 3D, simplement pour mémoire car, à ma connaissance, elles ne sont pas utilisées dans l'imagerie biomédicale à laquelle nous nous intéressons ici.

• L'ombrage

Les objets observés à l'œil nu, ou encore photographiés ou filmés, renvoient plus ou moins de lumière en fonction de leur relief. Les techniques d'ombrage sont enseignées classiquement pour réaliser des dessins ou des peintures.

Les photographies d'objets observés en M.E. à balayage présentent aussi des niveaux de gris qui rendent compte du volume de l'objet, avec les mêmes codes iconiques que l'ombrage traditionnel.

En ce qui concerne les images obtenues en M.E. par cryofracture, les reliefs de la réplique métallique de la surface métallisée de la cryofracture sont visualisés par dépôt orienté d'un métal opaque aux électrons, qui ombre donc les creux et bosses (sur ces images, on ne peut différencier les creux des bosses qu'en connaissant la direction du dépôt).

Enfin, sur les images numériques de reconstructions 3D à partir de coupes tomographiques sériées (première colonne du tableau 2), un ombrage est introduit sur la surface des

quand il est absent, l'ombrage est rajouté pour donner du volume sur les images (schémas, cryofracture, images numériques 3D)

organes reconstitués, pour leur donner une apparence de relief (figure 8).

• **Notre mouvement relatif par rapport à l'objet observé**

le mouvement rend apparent le relief 3D d'un objet non ombré

C'est aussi un mécanisme fondamental de la vision 3D, mais qui ne peut être mis en œuvre quand nous observons une image fixe. Il redevient possible avec le cinéma, l'objet pouvant tourner face à une caméra fixe, ou la caméra tourner autour d'un objet (ces deux mouvements relatifs étant généralement associés). Certains logiciels de reconstitution d'images 3D à partir de coupes sériées donnent le relief de l'image 3D en la faisant tourner (les parties de l'objet qui sont derrière disparaissant de l'image au fur et à mesure qu'elle tourne) : l'impression de relief est évidente, alors qu'il n'y a aucun ombrage.

• **Autres techniques de vision en relief**

vision stéréoscopique, cinéma 3D...

La vision stéréoscopique binoculaire est utilisée en permanence dans notre vision habituelle mais, pour la mettre en œuvre sur des images, il est nécessaire de disposer de deux images prises avec un angle de vue différent correspondant à notre vision binoculaire. Un dispositif optique simple nous permet d'observer conjointement les deux images, une par chaque œil, et d'en reconstruire une image 3D. Ce procédé est par exemple utilisé dans des T.P. universitaires de géologie pour rendre apparents les reliefs (montagnes, falaises, failles...) à partir de deux photos aériennes. Le cinéma en relief superpose deux images légèrement décalées ; le spectateur doit mettre des lunettes permettant à chaque œil de voir l'une des deux images (dans certains films le filtre d'un œil est vert tandis que l'autre est rouge ; dans d'autres, chacun des deux filtres est un polaroïd).

... effet tapisserie (œil magique")

Une version plus moderne de la vision stéréoscopique a connu un gros succès populaire ces dernières années ; le principe de cet "œil magique" est simple : lorsque plusieurs motifs identiques sont régulièrement juxtaposés (comme dans une tapisserie), la vision stéréoscopique permet, en regardant à travers ce dessin, de fusionner deux à deux les images de ces motifs pour voir l'ensemble net sur un autre plan que celui de la feuille de papier observée : de légers décalages entre les motifs juxtaposés sont alors créateurs de reliefs (Harber et Bielinski 1994).

D'autres types de visualisation stéréoscopique de reliefs à partir d'images 2D sont possibles, par exemple en superposant un réseau sur l'image.

Citons pour terminer un type d'images 3D bien particulier, **l'holographie**, qui n'est pas à ma connaissance utilisée en imagerie biomédicale.

5. CONCLUSIONS

5.1. Le changement de pratiques de références

la finalité
première
d'une image
biomédicale
est le diagnostic
ou la recherche

L'imagerie biomédicale est produite par et pour les biologistes chercheurs, ou par et pour les médecins. Dans le premier cas, les images produites ne prennent de sens que dans le contexte de la recherche menée, et de sa communication à la communauté scientifique dans des revues scientifiques spécialisées. Dans le second cas, les images ne prennent de sens que dans le contexte d'un diagnostic médical, qui sera suivi d'indications thérapeutiques. Dans les deux cas, les spécialistes maîtrisent suffisamment les codes iconiques et scientifiques pour utiliser efficacement l'image en fonction de leurs propres objectifs. Il existe à cet égard une division du travail. Dans un laboratoire de recherche ou sur un site hospitalier, des ingénieurs sont chargés de la maintenance des appareils ; ils maîtrisent la technologie de la production des images, et leur seul objectif est d'obtenir des images nettes et avec le minimum d'artefacts. Ce signifié pour eux devient signifiant pour les chercheurs ou les médecins qui utilisent cette netteté de l'image comme outil pour répondre aux questions posées en produisant des images nouvelles.

sa fonction
devient autre
dans une
pratique scolaire

Quand les mêmes images sont mises à la disposition d'un public non averti à des fins éducatives, il y a un changement total des perspectives (14) : ce qui était un préalable indispensable pour les spécialistes (comprendre l'image pour répondre à leurs problèmes, et donc maîtriser auparavant l'anatomie, la physiologie et la pathologie de l'organe observé, ainsi que la technologie de la production de ce type d'images pour être sûr de ne pas observer d'artefact) devient un objectif d'enseignement (comprendre une image sélectionnée, donc dépourvue d'artefact, pour apprendre à connaître l'anatomie, la physiologie et parfois la pathologie de l'organe observé : la compréhension de l'iconogenèse devient accessoire).

J'insiste donc sur le fait que les "stratégies pédagogiques" proposées dans la dernière partie de ce texte pour préparer progressivement les apprenants à ne pas être désorientés face à l'imagerie biomédicale doivent être insérées dans des projets pédagogiques qui peuvent faire ou non référence à l'imagerie biomédicale. Une activité de cartographie d'un paysage, ou la réalisation d'une mosaïque, ou encore un théâtre d'ombres, n'a pas besoin de faire allusion à l'imagerie médicale. Dans d'autres cas, cette référence peut être utile et motivante, par exemple pour lire des radiographies, ou travailler sur la notion de coupe tomographique. La

(14) Sauf bien sûr quand il s'agit de la formation d'étudiants en médecine ou de personnel paramédical, ou encore de la formation de biologistes à et par la recherche, au niveau DEA ou thèse par exemple.

l'usage de ces images à l'école ou hors de l'école, motive les enfants, mais nécessite des stratégies pédagogiques appropriées

complexité de la relation à son propre corps et à ses images normales ou pathologiques (voir par exemple Gervet 1985, Jodelet 1985, Rumelhard 1986), est alors source d'autant de motivations mais aussi d'obstacles pour aborder un travail sur ces imageries. Des enquêtes effectuées sur le public visé par une exposition sur l'imagerie médicale ont fait apparaître une très forte attente par rapport aux aspects médicaux, qui ont donc été la clef d'entrée de l'exposition et des activités d'ateliers qui y étaient proposées ; et l'ensemble a très bien fonctionné (Wake & Bradburne 1993). De telles entrées sont possibles dans un cadre scolaire.

5.2. Des images construites selon des codes spécifiques

Chaque type d'imagerie biomédicale présenté dans la partie 2 de ce texte fait appel à **des codes iconiques et scientifiques particuliers**, qui créent de véritables règles spécifiques pour interpréter ces images. Le même cerveau peut être observé en scanner X, en IRM ou en TEP. Chaque image offre à interpréter des informations différentes et complémentaires, selon des codes spécifiques.

la "réalité" du cerveau nous échappe, chaque type d'imagerie cérébrale construit une facette de cette réalité

En d'autres termes, l'aspect figuratif de chacune de ces images ne peut être réduit à un "réel" qui serait rendu visible. Ce "réel" est toujours construit, par des interactions entre les structures et phénomènes observés, et l'arsenal technologique utilisé pour effectuer ces observations. À la base de cet arsenal, il y a bien **le transcodage iconique figuratif** (cf. la typologie proposée au début de ce texte). Mais si ce transcodage reste figuratif pour une radiographie ou pour une image de microscopie électronique, pour d'autres images médicales il inclut aussi des **opérations graphiques** : nombre d'imageries médicales sont des images à la fois figuratives et graphiques.

Au total, chaque type d'imagerie témoigne de processus multiples qui créent des codes de reconnaissance très spécifiques : c'est en cela que l'imagerie biomédicale est souvent *a priori* déroutante pour les élèves et étudiants autant que pour leurs enseignants.

5.3. Des notions structurantes pour la compréhension de cette imagerie

la diversité des images biomédicales traduit la diversité des regards scientifiques sur un organe normal ou pathologique

Au delà de cette complexité déroutante de prime abord, il est frappant de constater que les premiers obstacles mis en évidence par nos recherches sur les problèmes liés à la compréhension de l'imagerie biomédicale sont relatifs à quelques mécanismes généraux.

- L'appréhension des enseignants face à ces images qui les désorientent en absence de guide clair : le but du présent texte est justement d'introduire des clefs d'entrée simples sur les catégories de méthodes utilisées, clefs qui pourraient

mais ce foisonnement d'approches s'enracine dans quelques notions structurantes qui sont susceptibles d'apprentissages à tous les niveaux scolaires, y compris les premiers

donner aux enseignants, et par là même ensuite aux apprenants, une assurance minimale.

- La difficulté de compréhension de notions élémentaires qui sont pourtant structurantes, et dont la maîtrise doit se situer en amont d'un contact avec l'imagerie la plus complexe, pour pouvoir l'éclairer. Notions qui, je l'ai souligné à plusieurs reprises, peuvent devenir l'objet de stratégies pédagogiques récurrentes à divers niveaux du cursus scolaire : transparence/opacité, réflexion et enfin émission de signaux physiques.

- La difficulté tenace de concevoir des volumes à partir d'images 2D, mais aussi de concevoir la discrétisation d'une image numérique en pixels, qui renvoient aux voxels 3D des coupes tomographiques visualisées par l'imagerie médicale la plus moderne : diverses activités pédagogiques sont à ce propos suggérées, des plus artisanales aux plus informatisées.

Au total, l'espoir de ce texte est que la clarification proposée soit utile aux enseignants, et induise des innovations pédagogiques pour tester l'efficacité et les limites des propositions faites : l'évaluation de ces innovations permettra alors d'avancer encore par rapport à cette première ébauche de clarification, pour que l'enseignement scolaire sache désormais plus et mieux utiliser ce fascinant potentiel de ressources qu'est l'imagerie biomédicale.

Pierre CLÉMENT
Didactique de la biologie, LIRDHIST,
Université Claude Bernard - Lyon 1

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans une recherche sur l'imagerie biomédicale menée à l'Université Claude Bernard - Lyon 1 (UCBL) avec le soutien de la Région Rhône-Alpes (contrat "recherche en éducation" n° HO 39114 9414).

Je remercie vivement les scientifiques lyonnais qui m'ont donné des renseignements très actuels sur les techniques d'imagerie biomédicale, utilisées dans la partie 2 et pour le tableau 1 :

- le Pr. L. CINOTTI, directeur du CERMEP (Centre d'Exploration et de Recherche Médicales par Émission de Positons), UCBL ;
- le Pr. J. PERNIER, directeur de l'U 280 de l'INSERM (Laboratoire de recherche sur les signaux et processus cérébraux) et UCBL ;
- le Pr. A. BRIGUET et des membres de son Laboratoire de Résonance Magnétique Nucléaire (UCBL et CNRS) ;
- le Pr. M. AMIEL, directeur du Laboratoire de traitement du signal, imagerie numérique et ultrason, URA CNRS 1216, UCBL, HCL ;
- le Pr. R. GOUTTE et I. MAGNIN (INSA de Lyon et URA CNRS 1216) ;
- J.-P. BRES, Département d'Imagerie Diagnostique et Thérapeutique (dirigé par le Pr. AMIEL), Hôpital Cardio-vasculaire, HCL Lyon ;
- J.-Y. CHAPELON, U 281 de l'INSERM, dirigée par le Pr. D. CATHIGNOL (Recherche sur les applications médicales des ultrasons et des rayonnements non ionisants) ;
- le Pr. MALLET (UCBL-Santé) ;
- A. BOYRIVENT, physicien à l'UCBL et directeur du CeFoMaRP (Centre de formation des maîtres et de recherche pédagogique) ;

- A. PERRAT, ingénieur au CMEABG (Centre de Microscopie Électronique Appliquée à la Biologie et à la Géologie, dirigé par J.-M. FRANC) à l'UCBL ; les photos de M.E. des figures 1 et 2 ont été prises au CMEABG (UCBL) ;
- le Dr. H. BRINNEL (Collection A. Renaud et projet d'un Musée de la Radiologie) ;
- le Dr. CHAUVEAU (Centre Léon Bérard) ;

Je tiens finalement à rendre hommage à des scientifiques non lyonnais, figures de proue de la Radiologie, avec qui j'ai eu de très profitables discussions et correspondances : le Pr. PALLARDY (Paris) et le Pr. WACKENHEIM (Strasbourg).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUBERT F., LAISSY J.-P. (1995). *Radiologie et imagerie médicale*. PUF, coll. *Que sais-je ?*, Paris.

BARAT J.-L., LAURENT F. (1992). "Scanner et I.R.M". In *La science au présent*. Encyclopædia Universalis, 118-119.

BASTIDE F. (1985). "Iconographie des textes scientifiques ; principes d'analyse". In B. Latour éd., *Les vues de l'esprit, Culture technique*, 14, 132-151.

BERTIN J. (1967). *Sémiologie graphique*. Éd. Mouton, Paris.

CLÉMENT P. (1992). "La science et ses publics : images et représentations visuelles". In Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D., *Actes J.I.E.S.*, 14, 123-133.

CLÉMENT P. (1993). *Rapport d'évaluation de l'exposition "Le cerveau, un continent nouveau", co-produite par l'INSERM et le CCST-Grenoble, lors de son passage à la bibliothèque municipale de Lyon*. Document CCST-Grenoble.

CLÉMENT P., DEBARD É., PIOT A.K. (1993). "Cerveaux réels et images de cerveaux, chauves-souris réelles et en images : analyse des réactions individuelles et collectives". In Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D., *Actes J.I.E.S.*, 15 (*Science et technique en spectacle*), 217-226.

CLÉMENT P. (1995). "Les jugements d'étudiants scientifiques sur des images et objets relatifs au cerveau humain". *Les Cahiers de l'ADMES*, 9 (De l'image papier à l'image numérisée), 123-133.

CLÉMENT P., NDIAYE V. (1995). "De l'image vidéo à l'image numérisée en travaux pratiques de Biologie à l'Université". *Les Cahiers de l'ADMES*, 9 (De l'image papier à l'image numérisée), 113-122.

CLÉMENT P., SCHEPS R., STEWART J. (1996). "Une interprétation biologique de l'interprétation. I - Umwelt et interprétation". *Actes du Colloque de Cerisy "Herméneutique, textes et sciences"*, septembre 1994. PUF, Paris, 25 p.

CLÉMENT P., GAY A., SABATIER Ph. (sous presse). "Images and learning : I - Didactics of biological and medical images". In A. Giordan et Y. Girault ed. *The new*

learning models ; their consequences for the teaching of biology, health, environment education, Z'Éditions (Nice, France), 235-246.

DEVET G.B., WELLS P.N.T. (1983). "Les ultrasons dans le diagnostic médical". In *Les nouveaux moyens de la médecine*. Bibliothèque *Pour La Science*, diffusion Belin, Paris, 62-72.

ECO U. (1968). *La struttura assente*. Traduction française (1972) *La structure absente. Introduction à la recherche sémiotique*. Mercure de France, Paris, 447 p.

EDELMAN C. (1994). "À la découverte du corps humain". In *Le cinéma et la science*, coordonné par A. Martinet. CNRS, Paris, 174-181.

GERVET J. (1985). "La connaissance du corps de l'autre en éthologie : logique du leurre et leurre de la logique". In *L'homme et son corps ; de la biologie à l'anthropologie*. C.N.R.S., Marseille, Paris, 177-196.

HARBER P.G., BIELINSKI M.S. (1994). *The authorized collection of Holusian Art*. N Vision Graphic Inc., London.

JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Peter Lang, Berne, 168 p.

JAKOBSON R. (1963). *Essais de linguistique générale*. Éd. de Minuit, Paris.

JODELET D. (1985). "Changement culturel et représentation du corps". In *L'homme et son corps ; de la biologie à l'anthropologie*. C.N.R.S., Marseille, Paris, 129-138.

LACROIX D. (1994). *Ombres et lumières*. Séminaire du LIRDIMS, Université Lyon 1.

LEMIRE M. (1993). "Fortunes et infortunes de l'anatomie et des préparations anatomiques, naturelles et artificielles". In *L'âme au corps, arts et sciences, 1793-1993*. Réunion des musées nationaux / Gallimard / Électa, Paris, 70-101.

MAZIÈRE B. (1987). "La caméra à positons". *Le Courrier du C.N.R.S.*, 66.67.68. (spécial *Imagerie scientifique*), p. 12.

MORRIS C. (1938). *Foundations of the theory of signs*. International Enc. of Unified Sc., I-2. cité par U. Eco 1968/1972.

MORUCCI J.-P. (1992). "Imagerie par ultrasons". In *La science au présent*. Encyclopædia Universalis, 120-121.

MOTTET G. (1993). "Images et démarches scientifiques ; une orientation de recherche". In Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D., *Actes JIES*, 15, 151-162.

NDIAYE V. (1990). *Évaluation de l'utilisation de la vidéo dans des Travaux Pratiques universitaires de Biologie*. Mémoire de Thèse (Didactique des disciplines scientifiques), resp. P. Clément, Univ. Cl. Bernard - Lyon 1.

PALLARDY G., PALLARDY M.-J., WACKENHEIM A. (1989). *Histoire illustrée de la Radiologie*. Éd. R. Dacosta, Paris, 542 p.

PEIRCE C.S. (1931-1935). *Collected papers*. Harvard Univ. Press, Cambridge. Cité par U. Eco 1968/1972.

PYKETT I. (1983). "Les applications médicales de la résonance magnétique nucléaire". In *Les nouveaux moyens de la médecine*. Bibliothèque *Pour La Science*, diffusion Belin, Paris, 40-51.

ROQUEPLO P. (1972). *Le partage du savoir*. Seuil, Paris.

RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations*. Peter Lang, Berne, 172 p.

SHAYWITZ A. et al. (1995). "Sex differences in the functional organization of the brain for language". *Nature*, 373, 607-609.

SHULMAN R. (1983). "La spectroscopie des cellules vivantes". In *Les nouveaux moyens de la médecine*. Bibliothèque *Pour La Science*, diffusion Belin, Paris, 52-60.

TARDY M. (1975). "La fonction sémantique des images". *Études de Linguistique Appliquée*, 17, 19-43.

TAUGOURDEAU P. (1981). *L'homme transparent, ou la découverte du corps humain par l'imagerie biomédicale*. Magnard / Le François / CNRI, Paris, 130 p.

TER-POGOSSIAN M., RAICHLE M., SOBEL B. (1983). "La tomographie par émission de positrons". In *Les nouveaux moyens de la médecine*. Bibliothèque *Pour La Science*, diffusion Belin, Paris, 28-39.

VÉZIN J.-F. (1984). "Apport informationnel des schémas dans l'apprentissage". *Le travail humain*, 47, 1, p.61-74.

VIGREUX J. (1992). "L'électroencéphalographie quantifiée". In *La science au présent*. Encyclopædia Universalis, 144-145.

WACKENHEIM A. (1987). *Perception, commentaire et interprétation de l'image par les intelligences naturelle et artificielle*. Springer-Verlag, Berlin, Paris, 124 p.

WAKE D.A., BRADBURNE J. (1993). "Au delà de l'œil nu". *Alliage*, 15.

WEILL F.S. (1981). *L'ultrasonographie en pathologie digestive*. Vigot frères, Paris, 2ème édition mise à jour, 511 p.

APPROCHES PSYCHOLOGIQUES ET DIDACTIQUES EN TECHNOLOGIE : l'exemple du dessin technique

Pierre Vérillon

À la différence d'autres objets d'enseignement du champ technologique, le dessin technique bénéficie d'une tradition de recherche déjà longue. Cet article évoque d'abord les principales étapes de cette histoire qui ont conduit à concevoir l'activité de lecture du dessin comme résultant de la maîtrise progressive et solidaire de trois champs conceptuels : géométrique, sémiologique et technologique. Ensuite, au plan didactique, une approche psychologique des compétences spatiales initiales des apprenants et une analyse fonctionnelle du code de représentation analogique des formes et dimensions propre au dessin technique sont présentées comme pouvant contribuer à l'élaboration de savoirs à enseigner. À titre d'illustration, quelques propositions issues d'une progression destinée à une formation à la communication technique sont détaillées.

La didactique en tant qu'étude scientifique des phénomènes et processus d'enseignement a, actuellement, encore peu investi le domaine des enseignements techniques et professionnels, même si l'émergence, depuis peu, de différents lieux de recherche permet d'espérer qu'à terme cette situation évolue.

Il est, cependant, un domaine dans lequel ce constat ne se vérifie pas : c'est celui du dessin technique.

le dessin
technique, objet
de nombreux
travaux de
recherche

En effet, en tant qu'objet d'enseignement en formation professionnelle initiale et continue, celui-ci a donné lieu, depuis plusieurs décennies, à de nombreuses recherches et expérimentations, ainsi qu'à un ensemble important de publications visant tant la communauté enseignante que celle des chercheurs.

Cet article (1) se propose, dans un premier temps, de dégager brièvement les grandes lignes d'évolution de ces travaux. Nous évoquerons notamment la façon dont les recherches de l'INRP se situent dans cet ensemble et comment, pour notre part, nous analysons les tâches et activités de lecture. Ensuite, nous présenterons des propositions didactiques, dérivées de ces analyses, et destinées à favoriser chez les élèves le développement de compétences pour une utilisation générative des graphismes techniques.

(1) Ce texte reprend une communication prononcée lors du colloque "Perception 3D" organisé par l'Association des Professeurs de Technologie de l'Enseignement Public, les 24 et 25 novembre 1995 au Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris.

1. RECHERCHES EN PSYCHOLOGIE ET DIDACTIQUE : ÉVOLUTIONS ET CARACTÉRISTIQUES

Les recherches et innovations pédagogiques reflètent à la fois une conception du contenu enseigné - sa nature, sa structuration, ses propriétés - et une conception de l'apprenant - fonctionnement cognitif, difficultés prévisibles, etc. Aussi, dans cette première partie, dans laquelle nous présentons rapidement l'évolution des recherches sur la lecture du dessin, l'objectif sera moins de détailler les résultats trouvés par les auteurs que de tenter de repérer, au sein de leur approche, les conceptions successives qui ont dominé les interprétations et hypothèses.

des problèmes
issus du terrain

La difficulté de l'apprentissage et de la maîtrise du dessin technique est soulignée de manière récurrente par les enseignants qui évoquent les échecs nombreux et durables des élèves ainsi que par les industriels qui se plaignent des performances insuffisantes des sortants du système éducatif dans ce domaine. Aussi les premiers travaux, de nature pédagogique et méthodique, traduisent-ils, tout naturellement, des préoccupations de terrain. Leurs auteurs, enseignants confrontés directement aux difficultés des élèves, ont avant tout cherché à élaborer des stratégies visant à réduire ou à contourner celles-ci. Ces tentatives se distinguent par le caractère très global, tant de la caractérisation des obstacles supputés, que des solutions proposées. Le souvenir des nombreuses méthodes auxquelles elles ont donné lieu, celui des débats vigoureux qu'elles ont soulevés, sont encore vivants : méthode de la cale entaillée, méthodes indirecte, directe, de l'observateur projeteur, etc.

Avec le recul, il apparaît que **ce qui fait fondamentalement défaut, à la fois au niveau de la conception et de l'évaluation de ces méthodes, c'est un cadre de compréhension fine du fonctionnement cognitif des sujets dans les tâches d'apprentissage et d'utilisation du dessin technique.** Aussi, les premières manifestations d'intérêt pour le domaine, de la part de psychologues du travail et de la formation professionnelle, marquent-elles un tournant important dans l'histoire de la didactique des graphismes techniques.

un détour par la
psychologie

Les premiers travaux des psychologues se distinguent de ceux des pédagogues surtout en ce qu'ils introduisent une instrumentation méthodologique pour étayer leurs diagnostics et évaluations. Par une expérimentation systématique, ils visent d'abord à mettre en évidence des données (faits, régularités, relations, etc.) fiables et mesurées.

Cependant, si en ce sens ils présentent un réel progrès par rapport aux tentatives précédentes, la formulation des questions de recherche demeure encore très globale. C'est ainsi que Spencer (1965) cherche à comparer les performances de lecture de sujets néophytes selon que les vues d'une pièce

sont disposées selon la norme américaine ou européenne. Il compare également les performances de lecture selon différents modes de projection : vues orthogonales, vues sous différentes perspectives : conique, cavalière, isométrique. Les effets sont mesurés en terme de délai de réalisation du montage simple demandé. Leplat et Petit (1965) s'interrogent sur l'effet que peut avoir une activité préalable de dessin sur la réalisation d'une tâche de fabrication en atelier. Fassina et Petit (1969) cherchent à *"vérifier dans quelle mesure l'apprentissage de l'écriture du dessin favorise l'apprentissage de la lecture"*.

Les constats effectués restent très généraux et, de fait, ne font pas avancer significativement la connaissance des processus cognitifs à l'œuvre. A-théoriques et empiriques, ces recherches **s'attachent davantage à documenter des problèmes encore formulés de manière très proche des questions issues du terrain qu'à interpréter et rendre compte des phénomènes à travers un modèle.**

un cadre
d'analyse
des erreurs

Par rapport à cette situation, une évolution méthodologique et épistémologique décisive intervient lorsque Fassina et Petit (1969) sont conduits à s'intéresser aux erreurs de lecture de leurs sujets, non plus au titre de variable ou indicateur global d'un effet d'apprentissage, mais comme objet d'étude en soi. L'analyse des erreurs et l'élaboration de modèles pour en rendre compte vont dès lors s'imposer comme une voie dominante et féconde de la recherche sur le dessin.

La tâche consistait à détecter un certain nombre d'erreurs introduites dans des dessins de pièces : traits absents ou en surnombre, erreurs de ponctuation des traits, erreurs de cotation. Les auteurs constatant qu'une activité préalable d'écriture n'élimine pas les erreurs de lecture, concluent à la nécessité d'une formation spécifique à la lecture. Un retour sur les protocoles pour analyser plus finement les erreurs révèle, chez les élèves, un manque de précision dans l'observation et une difficulté à mettre en relation de manière cohérente les observations effectuées. Pour rendre compte de ces difficultés et élaborer des épreuves d'entraînement à la lecture, la théorie de l'information, qui connaît alors un certain succès en psychologie comme modèle du traitement cognitif des afférences perceptives, s'impose comme le cadre conceptuel le plus indiqué. Le dessin est alors conçu comme le support perceptif d'informations, chaque trace ou "événement" graphique constituant un signal ou un indice qui requiert de la part du sujet une activité de recherche, de saisie et de traitement.

La progression mise au point par les auteurs s'avère effectivement efficace mais **la hiérarchie des difficultés prévue par les auteurs en référence à la théorie de l'information se trouve dans les faits infirmée.** L'analyse des résultats fait apparaître l'existence de difficultés de nature différente entre épreuves et même à l'intérieur de certains groupes

des références
théoriques
piagésiennes

d'épreuves considérées comme identiques. L'hypothèse initiale d'une progression linéaire des difficultés en fonction du nombre d'indices perceptifs traités au cours de la résolution du problème doit être rejetée.

En 1973, Weill-Fassina va procéder à une réinterprétation de ces résultats dans le cadre théorique élaboré par Piaget et Inhelder (1948) pour rendre compte de la construction de l'espace représentatif chez l'enfant. Elle propose de classer les épreuves en fonction du type d'espace représentatif géométrique requis pour les résoudre :

- **espace topologique**, fondé sur des relations de voisinage et d'ordre, des rabattements dans les plans horizontal et vertical ou des rotations ;
- **espace projectif**, impliquant la coordination des différents points de vue sous lesquels sont représentés les objets.

En confrontant ces catégories avec les conduites des sujets, elle met en évidence deux types de stratégies :

- **une stratégie "figurative"**, inadéquate à l'espace projectif car fonction d'une représentation topologique conduisant par exemple à juxtaposer les différentes vues orthogonales pour en déduire une vue d'ensemble ;
- **une stratégie "opératoire"**, consistant à exécuter les transformations nécessaires pour coordonner les différents points de vue et conduisant à la réussite, dans la mesure où les transformations sont réalisées de manière complète.

La formulation de ces hypothèses marque le passage d'une conception de la tâche de lecture considérée comme le traitement d'une combinatoire d'indices perceptifs hiérarchiquement indifférenciés à une conception en terme de l'adéquation de registres de fonctionnement cognitif à des problèmes graphiques différenciés selon leurs caractéristiques spatiales (Vermersch, 1976). En d'autres termes, à une hiérarchie structurelle des problèmes correspond une hiérarchie fonctionnelle des modalités de résolution.

Ces travaux initiaux de Weill-Fassina ont été décisifs à plusieurs points de vue :

- **ils ont pour la première fois permis de situer correctement le dessin technique comme signifiant spatial de contenus spatiaux et d'élaborer un modèle correspondant du traitement cognitif ;**
- ils ont permis la mise au point d'instruments de diagnostic de déficits opératoires (le test TDI) et de stratégies de remédiation (Higelé, 1984 ; Georges et Higelé, 1990) ;
- ils ont stimulé la recherche théorique permettant d'articuler les travaux piagésiens et la psychologie de l'apprentissage chez l'adulte (Vermersch et Weill-Fassina, 1985) ;
- ils ont été à l'origine d'une lignée féconde de recherches qui a donné lieu à de nombreux travaux, notamment doctoraux (par exemple : Bendib et Weill-Fassina, 1987 ; Rachedi, 1987).

le dessin comme
signifiant spatial

une conception
déficiente
des difficultés

Néanmoins les approches qui relèvent trop exclusivement de ce courant se heurtent à certaines limites. En premier lieu, en se centrant sur les aspects géométriques du dessin, elles évacuent d'autres dimensions dont on peut se demander quels sont les effets sur les apprentissages. Notamment, dans les épreuves de diagnostic et d'entraînement, les objets représentés (solides géométriques) et les modalités de leur représentation sont assez éloignés des objets référents habituels du dessin technique, ainsi que de ses normes de représentation graphique. Ceci pose le problème de la valeur écologique de ces épreuves et de la question du sens relativement aux connaissances qu'elles visent à constituer. Enfin, ces travaux ont comme point commun de s'inscrire dans une perspective déficiente : la source des difficultés que rencontre l'apprenant est un déficit opératoire. En conséquence, dans ce cadre, les voies d'approche des difficultés ne peuvent être que remédiatives : on aide l'élève à élaborer les moyens opératoires qui lui manquent (Higelé, *op. cit.*), ou prothétiques : on aide l'élève à construire un outil de résolution non spatiale de problèmes spatiaux (par exemple : un outil graphique : cf. Blin, Duron et Giriat, 1984).

Les travaux menés à l'INRP ont conduit à proposer une image moins réductrice du dessin technique en tant qu'objet d'apprentissage et à restituer dans sa complexité l'activité de lecture du dessin lorsqu'elle se déroule dans un contexte fonctionnel lui conférant du sens.

trois champs
conceptuels sont
concernés :
l'espace...

Tout d'abord, ces recherches ont montré que si effectivement le dessin technique était porteur de significations spatiales, les objets décrits ne sont pas pour autant technologiquement neutres. Les propriétés géométriques des objets techniques sont, de par leur nature, surdéterminées par des significations fonctionnelles :

- elles sont (au moins virtuellement) contraintes par des conditions de fabrication : elles doivent pouvoir être générées par des dispositifs matériels existants ;
- elles sont contraintes par des conditions de conservation et de comportement interne (fonctionnement) et externe (finalité) de l'objet technique.

... mais aussi,
la technologie...

Ces régularités technologiques propres aux référents habituels du dessin technique influent sur la lecture du dessin, notamment en fonction des connaissances techniques du lecteur. Elles facilitent par exemple le décodage d'un dessin lorsqu'une forme n'a pu être complètement décrite géométriquement (Bal *et al.*, 1984). Inversement, Rabardel (1982) montre que des "représentations préexistantes" à contenu technologique particulièrement prégnantes peuvent induire des lectures erronées. Ainsi, ces travaux mettent en évidence que parallèlement aux processus de lecture mettant en œuvre l'analyse et la coordination de données spatiales, il existe des stratégies fondées sur des représentations relatives aux aspects technologiques.

Cependant, outre cette dimension technologique, il convient de tenir compte d'une troisième dimension intervenant dans les processus de lecture du dessin technique qui relativise encore le poids des aspects purement spatiaux : c'est la dimension sémiotique.

Les analyses sémiologiques conduites par Rabardel (1980) ont mis en évidence le caractère systémique du code graphique du dessin technique : il comporte un ensemble complexe d'unités sémiques associant à des traces graphiques différenciées (signifiants), des contenus de signification également différenciés (signifiés). Cet ensemble d'unités sémiques est muni de règles d'écriture et de composition qui permettent de produire des "messages" relatifs aux objets décrits mais aussi relatifs au fonctionnement du code lui-même et nécessaires pour conduire l'activité de décodage. Plus récemment, Rabardel, Rak et Vérillon (1988) montrent que le code reflète une structure des fonctions assurées par le dessin, elle-même associée à une structure des solutions. La structure des fonctions apparaît comme très stable à travers les champs professionnels et le temps. En revanche, la structure des solutions qui permettent d'accomplir ces fonctions est susceptible de variation. Ainsi, par exemple, la fonction de coordination des vues est assurée différemment sous les normes européenne et américaine.

La prise en compte du rôle des connaissances d'ordre technologique et sémiotique dans l'apprentissage du dessin a permis d'élargir les cadres conceptuels et problématiques tant en psychologie qu'en didactique au delà des seuls aspects spatiaux. **L'apprentissage est dorénavant conçu comme la maîtrise progressive et solidaire par l'apprenant de trois champs conceptuels : le code, la géométrie et la technologie.**

2. UN ENSEMBLE DE PROPOSITIONS DIDACTIQUES

Les propositions didactiques formulées par l'équipe de l'INRP et destinées aux enseignants exerçant au lycée professionnel ou en technologie au collège dérivent de cette conception élargie du dessin (Vérillon et Rabardel, 1993). Nous présentons, dans cette seconde partie, la philosophie générale de ces propositions ainsi qu'une analyse du savoir de référence et des cadres de compréhension des apprenants. Ensuite nous donnons un aperçu détaillé d'un des modules de formation. Enfin, pour un module différent, nous relatons une expérience de validation de la démarche.

Nous considérons le dessin technique comme un instrument, c'est-à-dire comme un dispositif qui a été conçu dans des conditions socio-techniques données pour opérer un

certain traitement du réel, finalité que reflètent ses propriétés structurelles et fonctionnelles.

À la différence des instruments matériels, les traitements qu'il permet d'opérer sont de nature symbolique, ce qui nous conduit à le caractériser, de manière générique avec l'ensemble des moyens de représentation graphique, comme un **instrument sémiotique**.

Comme pour tout instrument, son appropriation par l'utilisateur nécessite que celui-ci élabore les schèmes nécessaires à sa mise en œuvre. Ces schèmes d'utilisation peuvent résulter de la mémorisation de procédures existantes. Les règles et normes sont alors apprises comme des choses en soi, assorties d'un ensemble de prescriptions portant sur les procédures à appliquer dans tel ou tel cas. Néanmoins, l'évolution des compétences, s'opérant en extension par accumulation, interdit toute adaptation à des changements rapides du contexte.

acquérir une
maîtrise
générative du
dessin

Or, à l'évidence, dans un environnement socio-technique en forte évolution, les futurs ouvriers et techniciens devront posséder **une maîtrise dynamique et générative d'une pluralité de moyens de représentation graphique** ; c'est-à-dire d'une maîtrise capable, à l'opposé d'une maîtrise procédurale, d'engendrer elle-même des solutions nouvelles à un problème inédit. La question des conditions de la formation d'une telle maîtrise par les élèves s'avère donc cruciale pour la didactique de la communication technique.

Nous faisons l'hypothèse qu'une de ces conditions passe par l'acquisition par les élèves d'une connaissance fonctionnelle des instruments graphiques techniques. Nous entendons par là un ensemble de représentations mentales, plus ou moins élaborées, plus ou moins solidaires, relatives aux caractéristiques propres de l'instrument (finalité, structure, règles de fonctionnement), à la nature du traitement opéré par l'instrument, ainsi qu'aux propriétés des objets et situations de référence pertinentes par rapport à ce traitement.

L'ensemble du dispositif de formation à la communication technique élaboré par l'équipe de l'INRP est composé de quatre modules.

des modules de
formation...

Le premier, intitulé "**Communiquer les informations nécessaires à l'action technique**" propose un cadre conceptuel pour penser et nommer les processus et les instruments de communication (notion d'information, de code, distinction référent/signifié/signifiant, distinction fonction/solution...). L'accent est mis sur la dimension fonctionnelle des dispositifs de communication, notamment dans des contextes techniques (pluralité des tâches et, corrélativement, spécificité fonctionnelle des codes techniques).

...centrés sur des
problèmes

Les trois autres modules traitent, à partir de la fonction globale assignée au dessin technique, des solutions apportées à trois ensembles de problèmes :

mettre en avant
la dimension
fonctionnelle
des codes
techniques

- la représentation analogique des formes et dimensions des objets (module 2),
- la représentation des formes cachées (module 3),
- les limites de la représentation analogique et le recours à des moyens symboliques (module 4).

Dans chaque cas, les propriétés fonctionnelles des solutions apportées par l'instrument sémiotique sont mises en relation avec les caractéristiques des objets et tâches de référence ainsi qu'avec les contraintes d'utilisation (lecture et écriture).

Le module 2, que seul nous présenterons plus loin en détail, s'intitule "**Communiquer des informations relatives aux formes extérieures et aux dimensions des objets**" et introduit le système projectif du dessin technique, à la base de son mode de représentation analogique.

Les options que nous avons prises au niveau de l'organisation du contenu à enseigner ont pour source à la fois **les savoirs de référence relatifs au dessin**, c'est-à-dire sa géométrie et sa sémiologie, et les connaissances que nous avons **des cadres cognitifs que peuvent mettre en œuvre des élèves** de formation initiale à l'âge du collège ou du lycée professionnel.

2.1. Les savoirs de référence

la sémiologie
des codes
graphiques de
communication
technique

Les savoirs de référence concernant les caractéristiques fonctionnelles et structurales d'un instrument sémiotique tel que le dessin technique relèvent de la sémiologie des codes graphiques de communication technique. Nous avons vu qu'elle met en évidence l'existence d'une stabilité relative des fonctions qui lui sont assignées : **représenter graphiquement les données concernant la forme, les dimensions, la matière, les positions relatives des objets ou ensembles d'objets décrits**. En revanche, les solutions qui réalisent ces fonctions, ont connu des évolutions importantes au cours de l'histoire du dessin.

Le tableau 1 montre comment ces différentes fonctions (en colonnes) sont prises en charge au plan des solutions graphiques (en lignes) dans le dessin de définition d'une pièce d'aujourd'hui. Il met notamment en évidence la pluralité des systèmes (symboliques, numériques, langagiers, etc.) mis en œuvre dans un même dessin.

la représentation
analogique
des formes et
des dimensions

Le système figurant à la première ligne du tableau constitue la clé de voûte du dessin technique : le code de représentation analogique des formes et dimensions. Celui-ci permet, grâce à l'articulation d'un dispositif géométrique et d'un dispositif d'expression graphique, un codage "figuratif" de l'information.

**Tableau 1. Analyse d'ensemble des relations fonctions/solutions
dans le dessin de définition**

Fonctions : contenus à exprimer	Formes	Positions	Dimensions	Matière
	Nature de la forme	Écart à la forme ou position théorique		
Solutions : moyens d'expression				
Projection avec signifiant analogique	Formes des contours et intersection de surfaces		Condition de vraie grandeur : parallélisme de la forme au plan de projection	
Projection avec signifiant symbolique	Formes technologiques (filetages, engrenages...) Symétries		Mêmes conditions si le signifiant est analogique pour les dimensions	
Entités graphiques symboliques		Symboles et données numériques associés à une représentation graphique		Hachurage conventionnel des zones de la représentation en coupe
Données numériques			Cotation au tableau de coordonnées rattachées à une représentation graphique	
Indications langagières	Exemple : sphère diamètre x associée à une représentation graphique			Indication en clair dans la nomenclature reliée à la représentation graphique par n° de pièce

• **Le dispositif géométrique du dessin technique**

La géométrie intervient essentiellement à trois niveaux dans le dessin technique.

- Elle fournit les concepts pour penser les formes des surfaces élémentaires rencontrées en fabrication mécanique et donc susceptibles d'être codées en dessin technique.
- Elle fournit le principe de description des objets référents : la projection orthogonale qui détermine les invariants fondamentaux du système :
 - les formes, les dimensions, les angles de l'objet restent invariants lorsqu'ils sont situés dans un plan parallèle au plan de projection (propriété de "vraie grandeur") ;
 - les variations de forme, de dimension, d'angle sont systématiques et sont fonction de leur inclinaison par rapport au plan de projection ;
 - une rotation de l'objet - ou du plan de projection autour de l'objet - maintient invariante les dimensions parallèles à l'axe de rotation.
- Elle règle le problème du positionnement relatif du sujet, (dessinateur ou lecteur), de l'objet référent et des plans de projection.

• **Le dispositif d'expression graphique**

Le dispositif de description géométrique des objets est codé dans le dessin technique, ce qui a pour conséquence de déterminer un **espace graphique**, bidimensionnel, distinct mais en relation avec l'espace 3D.

un système
sémiotique
assez complexe

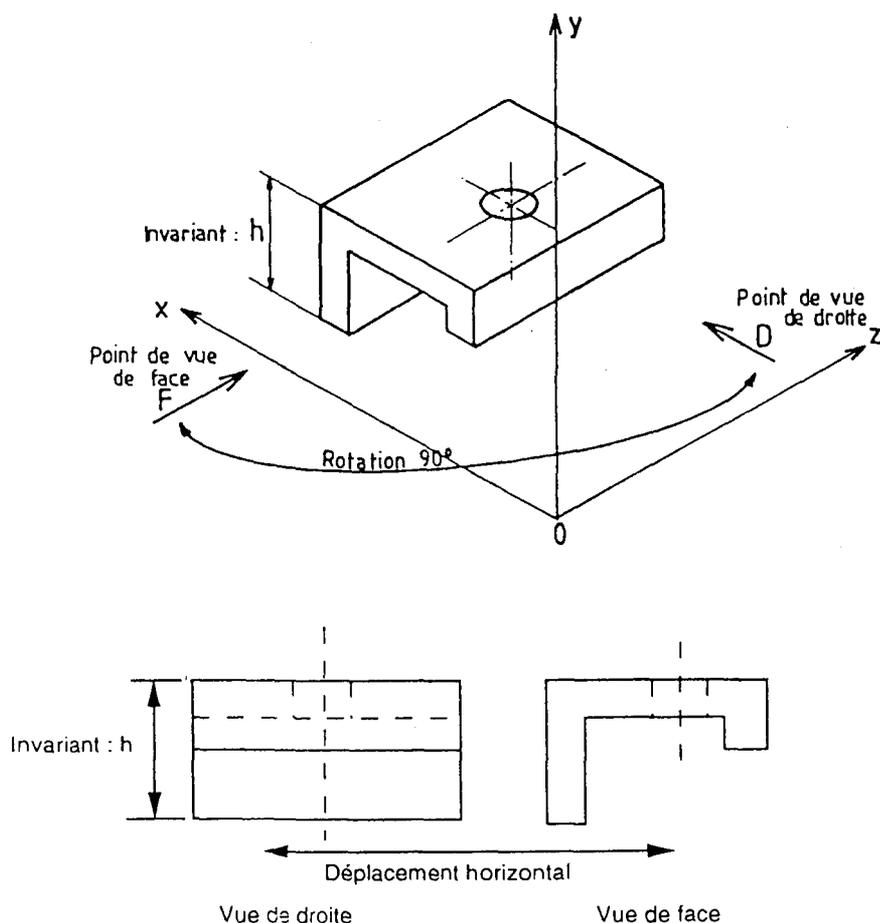
Ce codage graphique est réalisé par un système assez complexe comportant un ensemble d'unités sémiotiques se différenciant tant au niveau des **signifiants** (les traces graphiques) qu'au niveau des **signifiés** (les types d'informations véhiculés). Pour ce qui concerne la fonction qui nous intéresse - la représentation analogique des formes et des dimensions - ce code associe à des descripteurs d'objet (limite de matière et intersection de surfaces), et à des valeurs possibles de ces descripteurs (existence ou non de matière entre la partie de l'objet décrite et sa projection), des traits de segmentation et d'épaisseur différents.

Articulé avec le système projectif, ce code permet d'obtenir des **représentations graphiques d'objets munies de propriétés conservantes de la projection orthogonale**.

conserver dans
l'espace 2D ...

Mais le système de positionnement relatif objet/plans de projection trouve également son expression dans l'espace 2D du dessin. Ainsi la position conventionnelle, l'orientation et l'alignement des six vues dans l'espace graphique constituent l'expression de la position relative de l'objet et des plans de projection dans l'espace 3D. Cette convention permet de faire correspondre à une transformation dans l'espace tridimensionnel une transformation dans l'espace graphique qui lui soit équivalente dans la mesure où elle conserve les mêmes invariants.

Figure 1. Exemple de correspondance entre l'espace 3D et l'espace graphique



... des invariants
de l'espace 3D

Par exemple, à une rotation de 90° sur un axe vertical de l'objet (fig. 1), correspond une translation horizontale dans l'espace graphique de la vue de face à la vue de droite. Ces deux transformations conservent les mêmes invariants : toutes les dimensions conservées par la rotation (celles qui sont parallèles à son axe) sont également conservées par le déplacement dans le dessin (celles qui sont perpendiculaires à la translation).

• Les codes symboliques

La représentation analogique des formes et des dimensions constitue la fonction la plus caractéristique du dessin technique mais tous les traits dans une vue ne participent pas, loin s'en faut, de cette fonction. À l'instar de nombreux

autres graphismes techniques, une partie des informations est véhiculée de manière symbolique.

C'est le cas, par exemple, des hachures de plan de coupe qui ne représentent pas une forme. Inversement, et c'est un aspect souvent ignoré dans l'enseignement, toutes les formes d'objet ne sont pas en dessin technique représentées de manière analogique. C'est notamment le cas des parties filetées. Leur représentation figurative serait à la fois coûteuse en travail graphique et extrêmement redondante. En outre, la lisibilité de dessins de pièces comportant de nombreux filetages serait amoindrie en raison du nombre élevé de traits nécessaire à leur représentation. Leur représentation symbolique par un signifiant particulier (le couple trait fort/trait fin) s'est donc imposée comme la solution la plus économique.

la représentation symbolique constitue une rupture

Cependant, **ce mode de représentation constitue dans le dessin une rupture par rapport au code analogique dominant**, qui, à défaut d'être signalée et justifiée dans sa fonctionnalité aux élèves, est à l'origine de difficultés nombreuses et durables.

2.2. Les cadres cognitifs des élèves

Le travail de construction des propriétés géométriques et sémiotiques du système projectif du dessin que nous proposons aux élèves s'appuie sur les travaux de psychologie génétique de Piaget et Inhelder (*op. cit.*).

construire les rapports projectifs

Ceux-ci ont montré que l'intériorisation des rapports projectifs nécessite au moins au départ la participation du sujet à des activités exploratoires et transformatrices. C'est la raison pour laquelle nous avons développé, à chaque étape de la formation, des activités engageant la motricité et la sensorialité des élèves : manipulations d'objets et de maquettes, projections d'ombres, déplacements réglés d'objets, du corps propre, de mannequins, etc. Nous attendons de ces activités que chaque nouveau contenu de formation puisse s'ancrer sur des constats empiriques, des prises de conscience et des raisonnements explicites effectués par l'élève à l'occasion de transformations conduites par lui.

partir des relations sujet-objet

Toujours en tenant compte des enseignements de la psychologie génétique, nous avons choisi de présenter le système projectif du dessin à partir des relations sujet-objet plutôt qu'à partir de relations inter-objets comme le font nécessairement les approches par des projections indépendantes du sujet.

Au plan didactique, pour rendre compte du processus de construction des vues, nous avons adopté une approche géométrique mettant en œuvre un système articulé de points de vue sur un objet.

Nous présentons donc le dispositif géométrique du dessin technique comme étant l'ensemble des relations, opérations et propriétés invariantes (ou systématiquement variation-

un système
articulé de points
de vue

nelles) d'un système composé d'un objet de référence et d'un observateur dont les directions de regard sont parallèles entre elles et perpendiculaires à son plan visuel. En outre, le couple objet-observateur est orienté dans l'espace à l'intérieur d'un référentiel tridimensionnel (verticale/horizontale/profondeur), ce que traduisent les valeurs "dessus", "dessous", "gauche", "derrière".

Cette présentation a l'avantage d'être cohérente non seulement avec les données de la psychologie génétique mais aussi avec les pratiques sociales et langagières de référence : on parle de "vue", d'opposition "vu/caché", etc. En outre, elle est formellement équivalente à une approche dérivée de la descriptive (Bal *et al.*, *op. cit.*).

Dans ces conditions, on appelle **direction du regard de l'observateur**, la direction de ses rayons visuels, et **point de vue de l'observateur**, la zone théorique de l'espace où se trouve l'observateur telle que ses rayons visuels ont tous la même direction. On distingue deux points de vue opposés sur chaque direction de regard ce qui permet dans les cas conventionnels d'obtenir les six vues du dessin.

prendre
conscience du
point de vue
propre

Les tâches proposées aux élèves dans la séquence consistent à décrire, représenter ce qu'ils perçoivent sous leur point de vue. Par exemple il s'agira de dessiner à main levée un solide géométrique exposé dans un lieu de la salle, ou d'identifier parmi des vues de ce solide celle qui correspond à son point de vue.

Ces données sont relativisées ensuite par comparaison avec d'autres dessins ou vues obtenus sous d'autres points de vue par d'autres élèves ou par le même élève ayant changé de place. La discussion porte sur les transformations observées. Elle permet de prendre conscience du fait que, dans le référentiel défini, il existe une infinité de points de vue possibles de l'observateur sur l'objet et donc, en fonction de la direction de regard, de vues différentes quand on fait varier la position relative observateur-objet.

Il est cependant possible de dégager certaines régularités à l'intérieur de cette diversité.

dégager des
invariants
remarquables

- Tout changement de vue obtenu par un déplacement de l'objet peut être obtenu par un déplacement réciproque de l'observateur.

- Les formes, les dimensions, les angles sur l'objet sont conservés dans la vue qu'en a l'observateur lorsqu'ils sont situés dans un plan parallèle à son tableau visuel.

- De même leur variation est systématique lorsque le point de vue change : par exemple la dimension d'un segment de droite vu est fonction de son angle avec le plan visuel.

- Certains déplacements remarquables de l'objet (ou réciproquement de l'observateur) maintiennent invariants certaines dimensions vues sur l'objet. Par exemple, une rotation de l'objet sur son axe vertical conserve les dimensions verticales alors que les dimensions horizontales varient.

l'insuffisance
d'un point de
vue unique

- Lorsqu'il se trouve parallèle à la direction du regard, un segment de droite est vu comme un point, un plan comme un segment de droite.

Enfin il est déterminant que les élèves conçoivent la nécessité d'une coordination d'ensemble des points de vue, permettant leur constitution en système.

L'apprentissage commence par la prise de conscience de l'insuffisance d'un point de vue unique pour s'assurer de la forme d'une surface. Une ou plusieurs vues supplémentaires permettent la plupart du temps de lever les incertitudes concernant la forme représentée. Encore faut-il connaître les points de vue sous lesquels ces vues supplémentaires ont été obtenues. Le système conventionnel des points de vue et son codage dans le dessin sont présentés comme une solution à ce problème. Les relations entre points de vue dans l'espace 3D et entre les actions dans cet espace et celles dans l'espace graphique sont systématiquement explorées.

2.3. Éléments d'élaboration du savoir à enseigner

Au sein du deuxième module, dont nous allons donner à présent un aperçu, le déroulement de la formation s'effectue en trois étapes qui correspondent à trois niveaux d'élaboration progressive de l'instrument par les élèves :

- de l'objet à l'image de ses formes,
- de l'objet à l'image de ses dimensions,
- vers une définition complète des formes des objets.

• De l'objet à l'image de ses formes

obtenir une
image d'objets
solides

Le passage de l'objet à sa représentation graphique soulève un problème fondamental : comment peut-on dans l'espace bidimensionnel que constituent les supports graphiques (papier, écran, etc.) obtenir une image d'objets solides, reflétant l'ensemble de leurs propriétés morphologiques et dimensionnelles - données requises, par exemple, par des tâches de fabrication ?

La démarche proposée consiste à partir d'une analyse de l'objet à représenter et à dégager progressivement les étapes de la construction de son image en dessin technique. **Une image qui doit permettre à son utilisateur de retrouver un certain nombre d'informations concernant l'objet à partir de sa seule représentation graphique.**

Nous distinguons dans ce processus six moments d'élaboration conceptuelle que nous allons brièvement caractériser et qui s'appuient bien entendu sur des activités proposées aux élèves.

- **Analyse de l'objet.** Analyse de formes d'objets techniques réels en fonction de solides géométriques de référence : polyèdres, sphère, cône, cylindre, tore. Travail, en présence de solides manipulables, sur le vocabulaire, les propriétés géométriques des différentes formes.

six moments
d'élaboration

- **Définition des limites de matière/non matière.** Centration sur les limites de matière extérieures et intérieures d'objets. Ces limites sont présentées comme un ensemble de surfaces de différentes formes et dont les rencontres donnent lieu à des intersections de surfaces, perceptibles ou non, elles aussi de différentes formes.

- **L'observateur et sa position.** Introduction de la notion d'observateur. On se centre sur la relation optique à l'objet. Le point de vue définit la position de l'observateur par rapport à l'objet. Les manipulations visent à faire prendre conscience des conditions de changement de position relative observateur/objet (équivalence de déplacements objet et de déplacements observateur), des invariants constatables sous certaines transformations remarquables.

- **La direction de regard.** Elle se définit comme la direction des rayons visuels qui, sous un point de vue donné, joignent l'œil de l'observateur à l'objet. On convient que ces rayons sont parallèles entre eux et orthogonaux au plan visuel de l'observation. Discussion du caractère théorique de cette convention.

- **Constitution de l'image graphique de l'objet.** L'image de l'objet-référent est la représentation par un trait (signifiant) de ses limites de matière et/ou intersections de surfaces perceptibles (signifiés), dans les conditions optiques définies, par un observateur d'un point de vue donné. Cette image constitue une "vue" de l'objet. Le trait (ici continu fort) est une unité sémique du dessin.

- **La flèche.** Elle est présentée comme l'expression, dans une vue, d'une direction de regard autre que celle ayant permis de produire cette vue. La flèche est une unité sémique du dessin.

• De l'objet à l'image de ses dimensions

la représentation
graphique
modifie les
dimensions

Dans les conditions définies précédemment, l'image d'un objet ne conserve ses caractéristiques dimensionnelles que dans certaines conditions remarquables d'échelle et de direction du regard. Ces deux sources de variation des dimensions dans le dessin sont abordées.

- **L'échelle.** Prise de conscience des propriétés conservées sous le changement d'échelle.

- **L'inclinaison des formes par rapport à la direction de regard.** Elle modifie la perception de leurs dimensions ; prise de conscience des variations systématiques et des invariants remarquables (comme la condition de "vraie grandeur", obtenue lorsque les limites de matière et les intersections de surfaces sont situées dans un plan perpendiculaire à la direction du regard).

- **Concernant l'introduction des dimensions chiffrées et des conventions de cotation :** ce point ne sera pas développé ici dans la mesure où il ne concerne pas directement les aspects projectifs du dessin technique.

• **Vers une définition complète des formes des objets**

À ce point de la démarche, les moyens de définition d'une image de l'objet ne permettent pas encore la représentation complète de ses formes et dimensions. C'est l'objectif de cette dernière partie du module que de dégager les conditions de cette représentation.

- **Un point de vue privilégié.** Il permet d'obtenir une image de l'objet en "vraie grandeur". Une telle image constitue une "vue principale".

- **Le système des points de vue.** Prise de conscience de l'impossibilité de définir une forme à partir d'une seule vue, fut-elle principale. Nécessité, à la fois d'associer plusieurs points de vue, et de pouvoir les repérer les uns par rapport aux autres. Solution : six points de vue orthogonaux (qui pour des raisons liées à la morphologie des objets mécaniques fournissent un maximum de dimensions en "vraie grandeur") repérés par rapport à une vue dite "de face".

Pour pouvoir coordonner les vues, ce système de points de vue doit nécessairement trouver une expression dans l'espace graphique. D'où les deux solutions qui suivent.

- **La flèche.** Elle exprime une direction de regard par rapport à une vue donnée et peut renvoyer à une autre vue : "vue suivant F".

- **Le positionnement conventionnel des vues.** C'est la disposition normée des six vues dans l'espace graphique.

2.4. Éléments de validation

Une expérience que nous allons, pour conclure, relater permettra d'illustrer ce que nous entendons par la maîtrise générative d'instruments sémiotiques (une maîtrise capable, face à un problème inédit de générer d'elle-même une réponse adaptée). Elle permettra, d'autre part, d'étayer notre hypothèse d'une supériorité sur ce plan des présentations didactiques se référant à la fonctionnalité effective de ces instruments.

Ainsi que nous l'avons indiqué, si la représentation analogique des formes constitue dans le dessin technique le mode privilégié d'expression, une partie des informations relatives aux formes est néanmoins véhiculée, pour des raisons d'économie du travail d'écriture et de lecture, sous forme symbolique. Cette rupture avec le code analogique dominant, qui intervient le plus souvent en fin de formation, notamment lorsque l'on aborde le problème de la représentation des formes filetées, doit être signalée aux élèves et justifiée sur le plan de sa fonctionnalité sémiotique. C'est l'objectif assigné au module 4. L'expérience (Bal *et al.*, 1987) avait pour but d'en tester les options didactiques.

Les sujets, deux groupes d'élèves de deuxième année de CAP, ont été confrontés à la tâche de dessiner deux vis : une

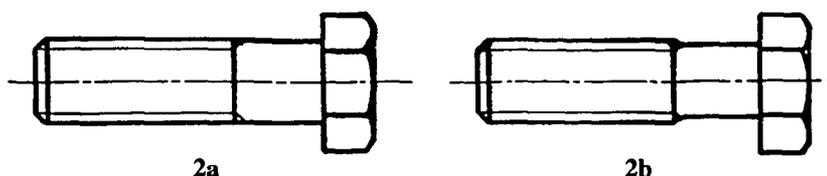
le système des points de vue

une rupture du code de représentation

une tâche,
deux groupes
d'élèves ...

à filets taillés, une à filets roulés. Ils avaient auparavant reçu une formation, identique dans les deux groupes, relative aux procédés de fabrication des deux types de vis. Les filets taillés sont obtenus par enlèvement de matière de sorte que le diamètre du cylindre enveloppe de leurs sommets est égal à celui de la tige dans laquelle ils ont été taillés. En revanche, les filets roulés sont obtenus par une déformation du métal, ce qui a pour conséquence de faire saillir leurs sommets par rapport à la tige initiale. Cette différence morphologique se traduit au niveau de leur représentation graphique (fig. 2).

Figure 2 : 2a. Vis à filets taillés, 2b. Vis à filets roulés



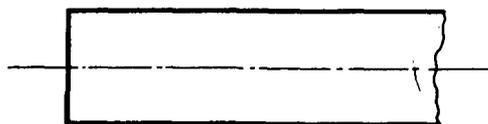
La variable sur laquelle se distinguaient les deux groupes était le type de formation à la représentation des formes filetées reçue par les élèves.

... deux
formations

Le premier groupe avait reçu une formation se caractérisant par l'emploi, très répandu, d'une métaphore liée à la fabrication. Schématiquement :

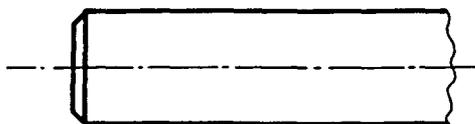
- on prend une tige cylindrique :

Figure 3



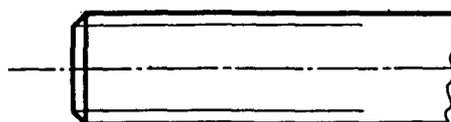
- on fait un chanfrein pour permettre le montage de la filière ;

Figure 4



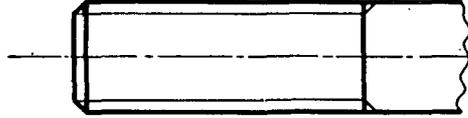
- on passe la filière ;

Figure 5



- les filets ne s'arrêtent pas d'un seul coup : ils sont incomplets.

Figure 6



une occulte
la rupture ..

Sous cette justification, la représentation graphique des formes filetées apparaît donc comme le dessin analogique d'une tige lisse chanfreinée avec adjonction d'un cylindre passant au fond des filets, représenté en traits fins. Cette présentation cumule deux défauts majeurs par rapport à la réalité sémiologique. Elle occulte la rupture que constitue le passage d'un mode analogique à un mode symbolique de représentation. Par contre, elle introduit une fausse rupture en référant les contenus de la représentation non plus aux formes de l'objet mais à son mode de fabrication.

Le second groupe avait reçu une formation fondée sur l'analyse sémiologique du code faisant apparaître :

... l'autre pas

- la substitution au code analogique habituel d'un code symbolique pour la représentation des parties filetées d'objets ;
- les propriétés de la nouvelle unité sémique introduite : le couple trait fort/trait fin ; étant non analogique, son signifiant est arbitraire, sa forme particulière répond à des critères de visibilité, mais elle permet surtout l'expression, grâce aux deux positions relatives possibles du couple de traits par rapport à la représentation de l'axe de rotation de la pièce, des deux signifiés de ce code : "forme filetée creuse" et "forme filetée pleine" ;
- la valeur du diamètre nominal de la partie filetée est représentée par la distance entre les traits fins sur le dessin d'une pièce creuse et entre les traits forts sur celui d'une pièce pleine.

L'analyse des performances des deux groupes d'élèves (tableau 2) tend à confirmer notre hypothèse : la présentation "procédurale" permet de bons résultats, comparables à ceux de la présentation "généralisatrice", lorsque les élèves sont confrontés à un problème identifié et constitué en objet de formation (la représentation de la vis à filets taillés).

Tableau 2. Performances des deux groupes d'élèves

	Vis à filets taillés			Vis à filets roulés		
	Bon	Inversion	Non décidable	Bon	Inversion	Non décidable
Groupe 1 N = 19 Formation liée à la fabrication	73,7 %	7,9 %	18,4 %	34,2 %	39,5 %	26,3 %
Groupe 2 N = 41 Formation par analyse fonctionnelle du code	92,7 %	1,2 %	6,1 %	75,6 %	12,2 %	12,2 %

avantage à une
présentation
fonctionnelle
du code

En revanche, face à un contenu de tâche légèrement différent mais de nature inédite (le dessin de la vis à filets roulés), la compétence de type procédural trouve ses limites avec deux tiers d'échecs. 39,5% des erreurs peuvent être interprétées comme une tentative des élèves d'adapter la procédure enseignée : ils ont dans un premier temps dessiné en traits forts la tige initiale puis, en saillie, les traits fins correspondant, selon eux, à la fabrication de filets roulés (fig. 7).

Figure 7

À l'inverse, la formation "généraliste", fondée sur une approche fonctionnaliste du code, a permis dans les trois quarts des cas aux élèves de constituer un instrument sémiotique permettant la résolution d'un problème non encore rencontré.

3. CONCLUSION

Contrairement aux approches psychologiques et didactiques qui mettent l'accent sur les déterminations **internes** à l'apprenant (ressources ou déficits opératoires) dans la réussite des apprentissages, cette approche accorde une importance particulière aux déterminations **externes**. Même si elle n'exclut pas la possibilité de déficits opératoires chez l'élève, elle vise d'abord à organiser les contenus à enseigner de façon à ce que les instruments assimilateurs dont il dispose effectivement puissent fonctionner dans les meilleures conditions d'efficacité. Elle fait l'hypothèse que les compétences opératoires des élèves sont au moins partiellement dépendantes de leurs représentations. Elle parie sur un effet structurant des contenus d'enseignement et des tâches lorsque ceux-ci sont présentés et justifiés par rapport à leurs fondements fonctionnels.

Pierre VÉRILLON
Unité "Processus cognitifs et didactique
des enseignements technologiques".
INRP

BIBLIOGRAPHIE

BAL J.-J., RABARDEL P., et VÉRILLON P. (1984). "Présenter la géométrie du dessin technique". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique : des constats d'échec et des moyens de réussite*. Collection Rapports de Recherche n°9. Paris : INRP. (pp. 13-47).

BAL J.-J., BLANCHARD M., FLAHAUT J.-C., JOUANNE M., KRENKER D., RABARDEL P. et VÉRILLON P. (1987). "Utilisation de l'approche sémiologique pour un enseignement fonctionnel du dessin". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp.189-196).

BENDIB Z. et WEILL-FASSINA A. (1987). "Le rôle du dessin dans une tâche de montage mécanique". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp. 219-226).

BLIN C., DURON B. et GIRIAT H. (1984). "Des outils pour aborder le dessin technique". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*. Paris : INRP. (pp. 49-116).

FASSINA A. et PETIT R. (1969). "Les erreurs de lecture en dessin industriel". *Bulletin du CERP*, 18, 1.

GEORGES Y. et HIGELÉ P. (1990). *Ateliers de dessin technique*. Paris : Dunod.

HIGELÉ P. (1984). "L'apprentissage des opérations projectives". In *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*. Paris : INRP. (pp. 117-162).

LEPLAT J. et PETIT R. (1965). "Relations entre le dessin et les exercices pratiques dans l'apprentissage d'un métier manuel". *Bulletin du CERP*, 14, 1-2.

PIAGET J. et INHELDER B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : PUF.

RABARDEL P. (1980). *Contribution à l'étude de la lecture du dessin technique*. Thèse de 3ème cycle, Paris : E.H.E.S.S..

RABARDEL P. (1982). "Influence des représentations préexistantes sur la lecture du dessin technique". *Le Travail Humain*, 2.

RABARDEL P., RAK I., VÉRILLON P. et collaborateurs (1988). *Machines outils à commande numérique : approches didactiques*. Collection Rapports de Recherche n° 3. Paris : INRP.

RACHEDI Y. (1987). "Modalités d'utilisation des plans dans la construction d'un ouvrage en maçonnerie". In RABARDEL P. et WEILL-FASSINA A. (Éds.), *Le Dessin Technique*. Paris : Hermès. (pp. 227-234).

SPENCER J. (1965). "Experiments on engineering drawing comprehension." *Ergonomics*, 8, 93-110.

VÉRILLON P. et RABARDEL P. (1993). "De l'analyse des compétences à l'élaboration des contenus : contribution de la psychologie et de la sémiologie à la conception en ingénierie didactique". In BESSOT A. et VÉRILLON P. (Éds.), *Espaces graphiques et graphismes d'espaces*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

VERMERSCH P. (1976). *Une approche de la régulation de l'action chez l'adulte, registres de fonctionnement, déséquilibre transitoire et microgenèse*. Thèse de 3ème cycle, Paris.

VERMERSCH P. et WEILL-FASSINA A. (1985). "Les registres de fonctionnement cognitif : application à l'étude des conduites de lecture et d'écriture du dessin technique élémentaire". *Le Travail Humain*, 48 (4), 331-340.

WEILL-FASSINA A. (1973). "Lecture du dessin industriel, perspectives d'étude". *Le Travail Humain*, 36, 1.

DES IMAGES POUR DES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES : apport des nouvelles technologies dans l'enseignement de la physique

Daniel Beaufils
Jean-Claude Le Touzé
Hélène et Bernard Richoux

Un travail d'investigation a été mené au département Technologies nouvelles et éducation de l'INRP pour tenter de dégager des possibles en terme d'activités scientifiques avec l'image, en physique. Restant dans la problématique de transposition d'outils de laboratoire dans l'enseignement des sciences, le travail a porté sur la recherche de pratiques scientifiques pouvant servir de référence, la réalisation de logiciels permettant de transposer à la fois outils et activités et l'expérimentation d'activités scientifiques avec des élèves et des étudiants. Ces propositions d'utiliser l'image pour mesurer, analyser, confronter modèle et réalité, conduisent à des interrogations sur la nature et le statut des images (photographies, films, images numérisées, images calculées, graphiques abstraits) et sur les capacités ou difficultés des élèves. À travers une présentation des outils et des essais d'activités scientifiques que nous avons réalisés, nous voulons ainsi montrer concrètement l'émergence de questions posées à la didactique des sciences par l'évolution technologique.

le film et
la photographie
comme
méthode
scientifique...

Les outils informatiques de création, de traitement et de restitution d'images (logiciels pour modes graphiques haute résolution, interfaces spécifiques pour exploiter la vidéo, lecteurs de disques compacts, CD-photo, etc.) constituent la base potentielle de procédés didactiques pour toutes les disciplines d'enseignement. Les disciplines scientifiques, et en particulier les sciences physiques, se distinguent puisque ces nouveaux outils peuvent également être mis **au service de nouvelles activités d'investigation scientifique** : la caméra et l'appareil photographique, en particulier, peuvent en effet constituer les capteurs qui, avec l'ordinateur auxquels ils sont connectés, permettent la mesure, le traitement de données, l'analyse et la modélisation des résultats. Cette approche spécifique où l'image est prise tout à la fois comme objet et moyen d'activités scientifiques pour les élèves et où ces activités sont rendues plus riches et plus réalistes grâce à l'utilisation de technologies performantes s'inscrit donc dans le *"paradigme ordinateur outil de laboratoire"* (1). Des travaux de recherche ont ainsi été menés par l'unité Informatique et enseignement de l'INRP pour explorer les possibles en termes de transposition d'outils et d'acti-

(1) Voir bibliographie, en particulier : BEAUFILS, 1993a et b.

tés dans l'enseignement secondaire. Les quelques éléments de ces recherches (2) que nous présentons ici reflètent les différents aspects d'un tel travail : étude de pratiques de laboratoire, réalisation d'outils informatiques prototypes, élaboration d'activités et expérimentations didactiques.

Dans la suite, après quelques éléments permettant de situer les pratiques actuelles en matière d'utilisation scientifique de l'image en physique qui peuvent être prises en référence et quelques aspects techniques sur les outils actuellement transposables à l'enseignement secondaire, nous consacrons une partie importante à la présentation de situations didactiques. Celles-ci sont issues d'expérimentations de recherche ou de mises en pratique en situation de classe qui ont permis l'étude de la mise en œuvre de ces outils dans des activités scientifiques et l'observation des aptitudes et des attitudes des élèves.

1. DES PRATIQUES DE RÉFÉRENCE AUX PRATIQUES PÉDAGOGIQUES

L'idée de la photographie comme méthode scientifique n'est pas récente puisque l'on peut la fixer en 1878, lorsque Étienne-Jules Marey abandonne ses systèmes mécaniques (capteurs constitués de poires en caoutchouc placées sous les pieds des sportifs ou les sabots de chevaux reliées à des rouleaux enregistreurs (3) et choisit d'étudier les mouvements en les photographiant (4). En 1882 il réalise son fusil photographique puis construit une cabine mobile pour faire des photographies aujourd'hui célèbres : marcheurs, sauteurs, chutes et rebonds de balles, envols d'oiseaux, etc. Bien évidemment les exploitations actuelles de la photographie et du film bénéficient de nouvelles technologies, l'assistance informatique en particulier, et les utilisations pour mesurer, analyser, modéliser, etc. se sont largement étendues et diversifiées.

une idée
ancienne...

(2) Recherches "Activités expérimentales sur l'image assistées par ordinateur" (1988-1992) et "Étude du transfert d'outils d'acquisition, de traitement et de restitution d'images numériques dans l'enseignement des disciplines scientifiques" (1992-1995).

(3) Voir FRIZOT 1983, BEAUNE (collectif) 1995.

(4) Cette date vaut pour la France... Le choix de E.-J. Marey a été fait sous l'influence de l'américain Muybridge, seul reconnu par nos collègues anglo-saxons... (GRAHAM, 1991).

1.1. L'imagerie dans l'activité scientifique actuelle du physicien

Comme le souligne J.-C. Charpentier dans un numéro spécial du *Courrier du CNRS* [1991] "*le traitement du signal et de l'image s'étend vraiment sur tous les champs scientifiques qui peuvent s'inscrire dans le continuum, capter, analyser, filtrer, exploiter, pour interpréter, reconnaître, comprendre, décider et agir*". Ainsi, sans même aborder le vaste domaine de l'imagerie médicale, on peut trouver des exemples où l'image est au centre de l'activité de mesurage : depuis l'étude de vastes systèmes - mesures océanographiques par tomographie acoustique, détection à base de capteurs CCD pour l'exploration de l'univers lointain - à celle de zones très précises - diffraction pour contrôler la fabrication d'un film atomique - en passant par des échelles plus habituelles - étude des écoulements turbulents, analyse du mouvement sportif [CNRS 1992]. Le traitement de l'image est évidemment essentiel dans les activités d'analyse et de modélisation : analyse des signaux acoustiques (voix, bruits moteurs, etc.), analyse de la structure des champs électromagnétiques de l'ionosphère, reconnaissance de formes et détection de contours, analyse de scène dynamique, etc.

Ces exemples rapidement évoqués montrent à l'évidence l'importance du champ de pratiques scientifiques de l'image. Mais ils montrent également qu'il convient d'abord de distinguer les situations où l'image est la reproduction (éventuellement dilatée ou contractée dans le temps ou l'espace) de la nature spatiale du phénomène étudié (cas des études de contours, formes ou mouvements par enregistrement d'ondes lumineuses, électromagnétiques ou acoustiques), de celles où ce sont des technologies d'imagerie qui permettent d'obtenir des représentations graphiques d'informations multidimensionnelles fournies par d'autres types de capteurs (cas des sonagrammes obtenus à partir du signal en provenance d'un micro, par exemple) : dans le premier cas on re-présente un phénomène qui se déploie effectivement dans **un espace** physique réel, dans l'autre on représente des informations **qui traduisent** le phénomène physique ; dans le premier cas les deux dimensions de l'image (5) représentent l'espace concret, dans le second l'image est une construction dans des espaces abstraits. On voit bien, à travers la difficulté d'explicitation que la polysémie des termes est fondamentalement liée à la multiplicité des objets et des méthodes d'analyse et que toute représentation, si abstraite qu'elle puisse être pour l'observateur novice, est toujours parfaitement signifiante pour le spécialiste et est alors bien considérée comme une "image" du phénomène.

et des pratiques
actuelles

le choix entre
la re-présentation
"concrète" et
la représentation
abstraite...

(5) La dimension temporelle venant s'ajouter lorsque le phénomène est étudié dans son évolution : on passe de l'image fixe à l'image animée.

... et entre
l'image venue
du réel
et celle venue
de la théorie

Ajoutons que, même dans le cas où le phénomène étudié est bien étendu dans l'espace réel, la distance entre l'objet et l'obtention de sa représentation sur l'écran est parfois vertigineuse. L'exemple de l'analyse des structures moléculaires par diffraction des rayons X en est un exemple : l'expérience fournit une figure extrêmement complexe de laquelle, par des calculs complexes, on extrait l'information sur certaines positions d'atomes ou de groupes d'atomes ; ensuite, un logiciel permet de calculer (à partir de formules théoriques) et de visualiser des volumes que le chercheur (à l'aide d'un système de visualisation tridimensionnel) ajuste en fonction de ses connaissances et des hypothèses de structure ! Dans ce cas, la part de la théorie et celle du chercheur sont loin d'être accessoires (6) !

1.2. L'imagerie scientifique dans l'enseignement de la physique

le faible apport
des images dans
les manuels
scolaires

Les manuels scolaires récents regorgent d'images de phénomènes physiques : mouvements d'objets simples, mouvements de sportifs, ondes sur une surface fluide, figures d'interférences ou de diffraction lumineuse, etc. Mais la plupart d'entre elles n'ont gardé qu'une valeur illustrative et ne sont là que pour **évoquer** chez les élèves un phénomène supposé connu par ailleurs et "justifier" implicitement l'étude de telle ou telle notion (7). Outre le fait que les photographies ont généralement perdu toute indication d'échelle d'espace et de temps qui en ferait des clichés scientifiques, la critique générale de l'introduction de ces "images de phénomènes de référence" est l'absence de tout recours et de tout retour à elles : lorsque la photographie du choc raquette-balle (fig. 1), par exemple, a été montrée en introduction de la leçon sur la quantité de mouvement, on n'en parle plus ; lorsque la photographie d'une figure d'interférences sur une cuve à ondes (fig. 2) est fournie à côté des calculs analytiques (et des courbes mathématiques) nul moyen n'est offert pour confronter les deux !

(6) Et nous n'abordons pas là le cas des images de pure synthèse qui peuvent donner la même représentation que celle issue d'un dispositif (cas par exemple, de certaines structures moléculaires de matériaux qui sont très bien modélisées par des algorithmes de morphologie mathématique).

(7) La question générale de la référence à des situations de la vie courante comme légitimation de certaines études mérite à elle seule une analyse détaillée hors de notre propos ici.

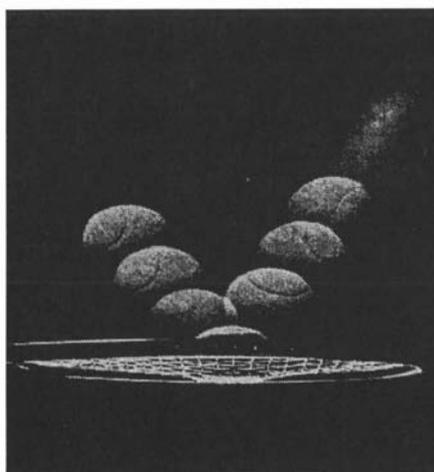


Fig. 1. Choc raquette/balle

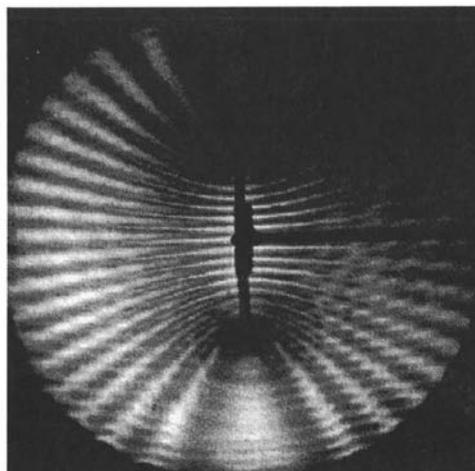


Fig. 2. Interférences à la surface d'une cuve à ondes

La situation est évidemment semblable pour ce qui concerne les films pédagogiques. Très souvent le point de vue adopté est celui de la visualisation-observation, de sorte que les conditions de prise de vue ne sont pas "calibrées" : point de vue en perspective, caméra mobile (8), absence de repère d'échelle ou de temps... Dans d'autres cas les images proposées sont souvent devenues des images pré-traitées qui montrent bien le phénomène mais qui, par le choix d'un objet spécifique, un pré-marquage ou des astuces de prise de vue (jeux de couleurs, surimpression graphique, etc.), montrent "ce qu'il faut voir" et ce, sans rien avoir à faire (9)...

1.3. Avec des images faire de la physique d'abord

Les pratiques de référence évoquées puis les critiques mentionnées ci-dessus indiquent clairement notre point de vue. Ce que nous proposons aujourd'hui dans notre approche c'est bien **une imagerie comme outil et méthode scientifique** (10) où l'assistance informatique est naturellement essentielle. Notre proposition est aujourd'hui réaliste compte tenu de l'évolution des technologies de création, de traitement et de restitution d'images accessibles à un large

l'importance
de l'évolution
technologique

-
- (8) Alors que la suite du document explique l'importance de choisir un référentiel lié au sol !
- (9) En écho à la note (5), on peut évoquer le cas des représentations "réalistes" qui figurent dans ces mêmes manuels scolaires ou ces mêmes films pédagogiques, qui ne sont parfois que des dessins... Mais ceci est en dehors de notre propos.
- (10) On retrouve le sens du terme imagerie lorsqu'il est utilisé dans l'expression "imagerie médicale"

transposition
d'outils et
d'activités :
invariants

public : logiciels pour modes graphiques haute résolution, interfaces spécifiques pour exploiter la vidéo, lecteurs de disques optiques compacts (CD-ROM, CD-photo, etc.) ; elle est même d'autant plus réaliste dans l'enseignement des sciences physiques que l'ordinateur est déjà présent depuis plusieurs années, précisément au titre "d'outil de laboratoire", et donc porteur de références à des pratiques scientifiques (11).

Cette référence à des pratiques de laboratoire ne signifie pas que l'on cherche à transférer les outils tels quels ni à reproduire à l'égal des activités de recherche dans un enseignement de lycée ou d'université. La transposition des outils et des activités est en fait caractérisée par deux points : l'existence "d'invariants" caractérisant la transposition proposée et celui d'écart entre les pratiques et les outils de référence et les activités et moyens transposés ; ainsi, les activités et les outils que nous avons été amenés à proposer dans le cadre d'un enseignement de science sont donc reconstruits (et donc différents) mais sur des points fixes assurant le contrôle de l'innovation et la cohérence de la démarche.

outils
informatiques...

Nous avons ainsi situé nos points d'articulation principaux sur les **fonctionnalités des outils** eux-mêmes (numérisation, calculs scientifiques automatisés, accès à des représentations graphiques multiples et variées, etc.) et sur une **activité scientifique** centrée sur la modélisation : mesurage, modélisation théorique, et confrontation modèle/données. Dans l'état actuel des travaux menés, deux domaines se sont trouvés privilégiés : la mécanique newtonienne classique et l'optique ondulatoire. Ainsi, en mécanique, nous avons proposé (à l'instar de J. Marey) de laisser une partie des dispositifs d'ExAO (12) complexes pour les remplacer par l'étude des phénomènes photographiés ou filmés ; le choix de l'appareil photographique et de la caméra tient ici au fait qu'ils constituent des capteurs particulièrement intéressants puisque, non seulement **ils ne perturbent pas le phénomène**, mais de plus, **permettent d'étudier des mouvements plans, non rectilignes de points quelconques d'objets quelconques**. Pour l'optique, la matrice de capteurs de la caméra constitue un capteur "naturel" pour un grand nombre de phénomènes ondulatoires (figures de diffraction ou d'interférences).

Ainsi, dans le schéma typique d'une "activité d'investigation scientifique" (13) telle que nous la proposons, le point de départ est une question de physique posée à propos d'un phénomène pour lequel un enregistrement photographique ou filmique est possible et dont la réponse nécessite une

(11) Voir DUREY (1987), BEAUFILS (1991), WINTHER (1993), notamment.

(12) Expérimentation Assistée par Ordinateur : sigle quasiment consacré par l'usage...

(13) Voir BEAUFILS 1993a.

investigation
scientifique...

analyse quantitative : l'enregistrement étant réalisé, les mesures nécessaires sont effectuées sur l'image, puis les calculs et représentations de différentes grandeurs physiques permettent l'analyse des données et la confrontation modèle/mesures. La transposition proposée porte donc clairement sur deux plans simultanés : celui des **outils** et celui des **activités**. Notons ici que la connexion des moyens d'acquisition de l'image (caméra, appareil photographique, scanner, etc.) à un ordinateur constitue évidemment un atout majeur : les possibilités de mémorisation, de calcul, de représentation graphique et de modélisation rendent plus réalistes les tâches d'investigation scientifique que l'on peut proposer aux élèves, c'est-à-dire à la fois techniquement réalisables et plus proches des activités du physicien chercheur. Ajoutons enfin que, du point de vue des conceptions de l'apprentissage, c'est bien évidemment un cadre constructiviste que nous privilégions : la mise en avant de l'activité scientifique n'est pas seulement la volonté d'imposer une révision du modèle du "physicien" (14) mais aussi celle de favoriser la mise en place d'activités fortement formatives pour les élèves et les étudiants.

et écarts

En termes d'écarts, il est facile de voir que sur le plan des outils, la nature et la complexité des outils mis à disposition des élèves et des étudiants sont nécessairement moins importantes que celles du chercheur. Mais il est tout aussi facile de voir que la spécification d'une activité en termes de mesurage, modélisation théorique et confrontation modèle/données, même si elle se place clairement dans une posture épistémologique contemporaine plus satisfaisante (15) ne permet pas de couvrir l'ensemble des "activités scientifiques" ; la formulation d'hypothèse, la mise au point de protocoles expérimentaux, l'analyse critique de résultats, présentation et soutenance d'un résultat devant des "pairs", etc., en font bien évidemment partie (16). Dans notre travail, nous n'avons pas ignoré ces éléments mais, dépassant considérablement le domaine spécifique de l'utilisation d'outils informatisés qui est le nôtre, ils n'ont pas été pris en compte au même niveau que ceux présentés précédemment comme "invariants".

(14) Les guillemets sont là pour indiquer que l'idée du chercheur "physicien", modèle unique, est évidemment à remettre en cause.

(15) Sans l'ambiguïté de démarches dites inductivistes.

(16) Voir les travaux réalisés précisément dans ce sens par Alain GUILLON (université de Cergy-Pontoise, laboratoire DidaScO (Orsay) au niveau du DEUG (BEAUFILS, LE TOUZÉ 1992, et GUILLON 1994) ; voir également la 3e partie de l'article.

2. MESURE, TRAITEMENT, ANALYSE : QUELQUES OUTILS INFORMATISÉS

Les activités évoquées ci-dessus nécessitent évidemment la mise en œuvre d'outils spécifiques pour la mesure, le traitement et la représentation. Ceux-ci peuvent être séparés en deux grands domaines : celui où l'information que l'on recherche est dans la position de certains points constitutifs de l'image (cas de la mécanique du solide ou des systèmes déformables, de l'astronomie, etc.) et celui où celle-ci est dans la valeur même des "pixels" (cas de l'optique ondulatoire, de la thermographie, de l'astrophysique, etc.). Différents logiciels ont été récemment réalisés pour l'analyse de chronophotographies à l'aide d'une tablette à numériser [Beaufils 1990 b, Beaufils et Le Touzé 1992] et pour l'exploitation d'images numérisées obtenues par scanneur ou numérisation vidéo [Le Touzé et Beaufils 1992] (17). Nous donnons ci-après quelques éléments un peu techniques à la fois comme concrétisations de nos propositions de transposition d'outils et comme informations nécessaires à la description des activités d'élèves et d'étudiants que nous donnerons ensuite.

2.1. L'étude de chronophotographies-papier : vers des espaces abstraits

Certains phénomènes peuvent être enregistrés sous forme de photographies : photographie "classique" pour des phénomènes statiques ou stables (forme d'une corde suspendue, jet d'eau, ondes stationnaires sur un fluide, etc.) ou chronophotographie pour l'enregistrement de mouvements (18). L'exploitation de ces documents est rapidement fastidieuse lorsqu'elle est effectuée à la main ; une tablette à numériser - surface "active" sur laquelle on peut relever les coordonnées de tout point à l'aide d'un curseur - permet dans ce cas d'assister le travail et de rendre la tâche réalisable (fig. 3). Le document étant fixé sur la tablette il suffit d'effectuer un premier pointage de l'origine du repère choisi puis de spécifier l'échelle en cliquant un point d'abscisse connue ; l'origine étant connue et le facteur d'échelle calculé, tout repérage d'un point de la photo donne une valeur en coordonnées "réelles".

une tablette
pour relever
facilement
les positions

(17) Un logiciel spécifique pour l'étude d'images satellitaires à également été réalisé lors d'une recherche antérieure (BLONDEL, FRUITET 1992).

(18) Une exploitation de documents de ce type pour le cours de mécanique classique figurait dans les programmes des années 70 (inspirés des cours canadiens, HPP et PSSC) ; on peut également penser au dépouillement de traces plus complexes comme les clichés de chambre à bulles pour l'étude des particules (ancien programme de Terminale scientifique).

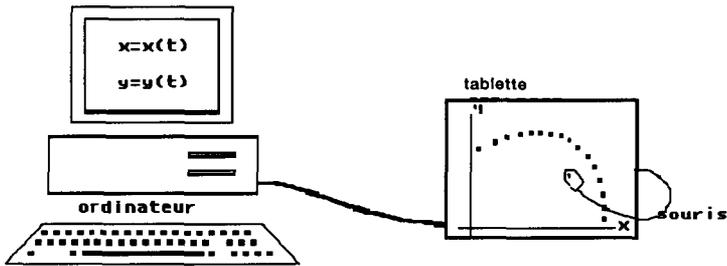


Fig. 3. Dispositif d'acquisition avec tablette à numériser

S'il s'agit d'une chronophotographie (voir exemples d'illustrations dans la suite : fig. 4, 5 et 6), l'élève doit alors pointer les positions successives de l'objet dont il veut étudier le mouvement. Son geste reproduit ainsi en partie le mouvement et les points représentatifs des mesures apparaissent au fur et à mesure dans les repères d'espace-temps $x(t)$ et $y(t)$.

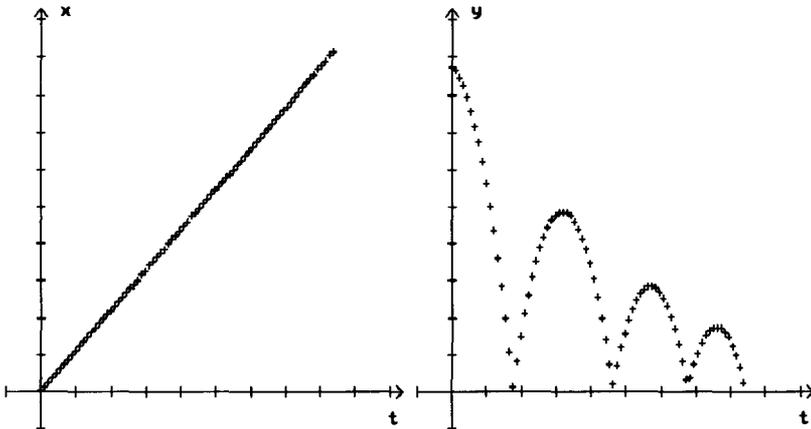


Fig. 4. Rebonds d'une balle : relevés de l'abscisse et de l'ordonnée au cours du temps (copie d'écran du logiciel TABLE)

des outils de calcul
et de
représentation
graphique

Ces données ainsi obtenues constituent donc un ensemble de triplets (t, x, y) qui peut être utilisé dans le calcul de nouvelles grandeurs : vitesse, accélération, énergies ; il est alors possible d'obtenir un grand nombre de représentations abstraites en choisissant parmi les grandeurs ainsi disponibles celle que l'on veut porter sur l'axe des abscisses et celle que l'on veut porter sur l'axe des ordonnées.

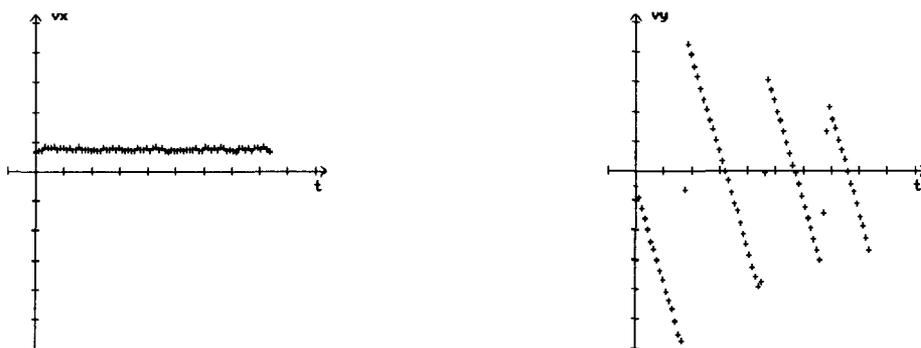


Fig. 5. Exemples de représentations graphiques : représentation des composantes horizontale et verticale de la vitesse au cours du temps d'une balle qui rebondit (copie d'écran du logiciel TABLE)

Le travail ultérieur est généralement dans ce cas la recherche d'un modèle, qu'il soit mathématique et purement descriptif des mesures ou déduit de façon théorique des équations fondamentales de la mécanique. Pour mener à bien le travail de comparaison et/ou d'ajustement de modèle deux outils de calcul et de représentation graphique doivent être disponibles :

- le tracé point par point d'une fonction mathématique, en superposition des points expérimentaux, quel que soit l'espace de représentation choisi ;
- la résolution numérique des équations différentielles tirées de la relation fondamentale de la dynamique et la représentation des points correspondants dans le (ou les) espace(s) représenté(s).

On voit ici qu'un des intérêts se trouve dans la manipulation des représentations : choix d'un ou plusieurs "espaces de représentation", mis en correspondances ou superposés, obtention de tracés sous forme de points, de croix, de droites, de courbes, possibilité de superposition de tracés expérimentaux et de tracés théoriques, temporisation des tracés reproduisant ainsi (simulant presque) un écoulement temporel. Mais l'on voit également que ces manipulations sont celles de représentations abstraites et que, si l'objectif de la tâche est bien l'analyse du phénomène physique, l'aptitude à la lecture de graphiques divers, parfois inhabituels, est un prérequis évident. En d'autres termes, ces outils introduisent des compétences nouvelles et il convient pour l'enseignant d'en assurer l'apprentissage. À ce propos, nous avons pu repérer la prégnance d'une lecture séquentielle gauche-droite (classique dans les représentations en fonction du temps) ; ainsi, dans l'exemple ci-dessous, malgré la numérotation des points affichée dans un cadre les élèves ont systématiquement considéré le point le plus à gauche comme le premier...

le choix et
la manipulation
d'espaces
abstraites

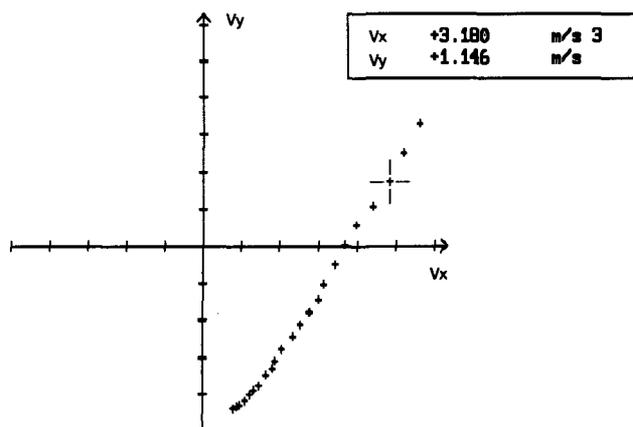


Fig. 6. Hodographe du mouvement d'un objet léger lancé obliquement dans l'air (copie d'écran du logiciel TABLE)

2.2. La numérisation ou l'incrustation : rester dans la réalité

Il est aujourd'hui possible d'obtenir l'affichage des photographies directement sur l'écran d'un ordinateur : à partir d'un document papier il suffit d'utiliser un scanner, à partir d'un document vidéo il faut soit **numériser** la série d'images soit utiliser la technique d'**incrustation**. En mécanique où la mesure porte toujours sur des coordonnées (ou des distances) le relevé peut alors se faire directement à l'aide de la souris et d'un pointeur graphique que l'on déplace sur l'écran. Ceci constitue naturellement une facilitation par rapport à la technique précédemment présentée. Mais l'intérêt se situe dans les outils de traitement d'image et de confrontation modèle/données.

Lorsque l'image est numérisée, il est possible de lui appliquer des outils de traitement. Dans le cas présent, les outils utiles sont ceux qui permettent la préparation (le "nettoyage") de l'image : suppression du bruit, binarisation, définition de contour. Ainsi, à partir d'une image brute il est possible d'estomper le fond, puis d'obtenir le squelette de l'objet dont on veut étudier la forme ou le mouvement (fig. 7, 8, 9 et 10).

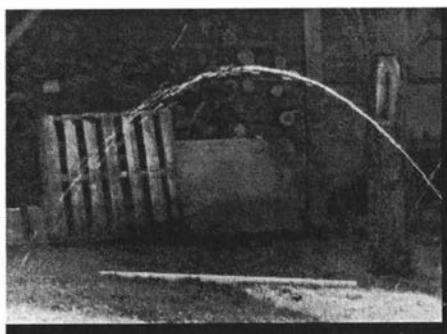


Fig. 7. Photographie d'un jet d'eau

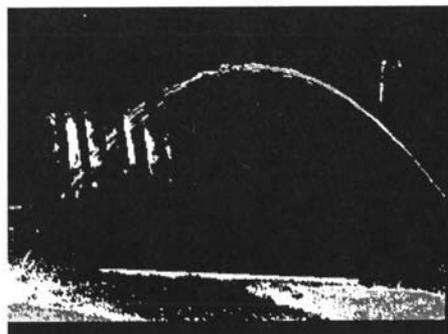


Fig. 8. Jeu sur la palette pour estomper le fond et faire ressortir la trajectoire

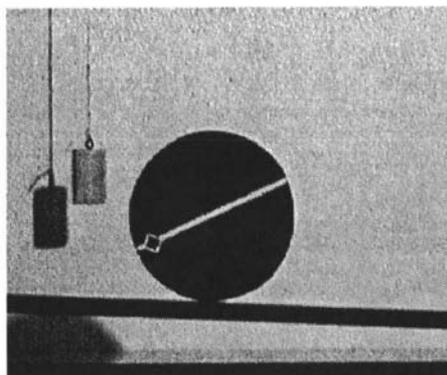


Fig. 9. Image extraite du film d'un cylindre roulant sur un plan incliné

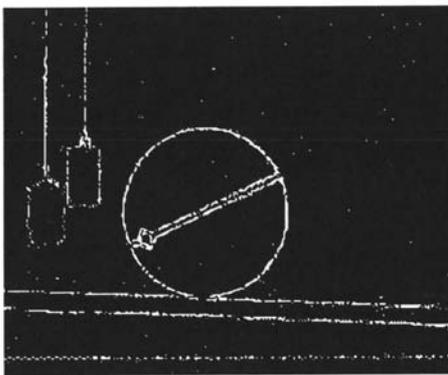


Fig. 10. Image issue d'un traitement par binarisation et calcul de contour

l'image que
l'on peut traiter

C'est donc ici la possibilité de travailler l'image qui est disponible. L'objectif du traitement n'est évidemment pas de "trafiquer" l'image, mais de faciliter les repérages ultérieurs et concrétiser le **passage de l'objet reconnaissable à la forme schématisée** dont on suivra l'évolution ; ces possibilités permettent donc d'une part de **réaliser une "modélisation graphique", une "abstraction intermédiaire"**, étape importante même si elle n'est pas toujours explicitée en tant que telle et d'autre part d'offrir à l'élève la possibilité de faire lui-même cette manipulation.

L'autre point intéressant est la possibilité de superposer à l'image elle-même des ensembles de points expérimentaux, des schémas géométriques et des courbes théoriques ; dès lors l'écran n'est plus seulement l'espace de la confrontation modèle/données, mais aussi celui de la **confrontation directe modèle/phénomène**. Ainsi, à titre d'exemple, les figures d'interférences à la surface d'une cuve à ondes (fig. 11) peuvent-elles être comparées directement au modèle ondulatoire : sur l'image numérisée à partir d'un cliché pho-

l'image
sur laquelle
on peut écrire

tographique et affichée sur l'écran, il est facile de pointer les deux sources et de relever la longueur d'onde, puis, par itération, de calculer, pixel après pixel, la différence des distances aux sources et de placer un point noir lorsque celle-ci est un multiple de la longueur d'onde ; le tracé théorique est donc non seulement obtenu à partir des pointés, mais de plus, se trouve fait sur l'image elle-même ! De même, pour l'étude d'un mouvement, il est possible d'obtenir superposés à l'image les tracés théoriques issus d'une modélisation : lorsque l'image est incrustée à partir d'un caméscope on peut repasser image par image et confronter la trajectoire calculée au déplacement de l'objet (fig. 12) ; lorsque l'image est numérisée, le tracé de la trajectoire peut être obtenu avec la représentation de l'objet lui-même prélevée sur une portion d'image.

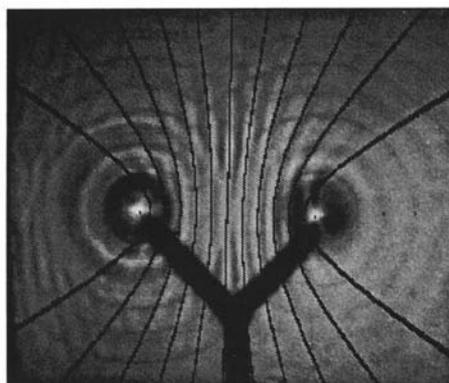


Fig. 11. Interférences sur une cuve à ondes ; photographie et superposition du tracé calculé

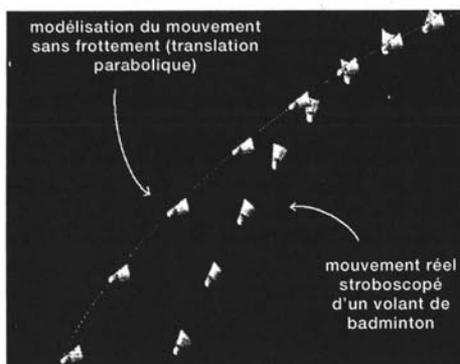


Fig. 12. Chronophotographie d'un mouvement et représentation du mouvement calculé par simulation numérique

Si le réalisme de la photographie ou du film a son importance dans l'intelligibilité du phénomène, alors on aura compris que le travail direct sur le document, depuis la mesure jusqu'aux tracés théoriques, puisse constituer une hypothèse intéressante pour l'intelligibilité (et le "réalisme") des modèles enseignés.

2.3. En optique : la confrontation à l'image de synthèse

Dans l'étude de figures de diffraction ou d'interférences lumineuses l'acquisition est d'abord celle de l'image à partir

de la numérisation du signal de luminance (19). Les outils de mesure sont donc des outils qui permettent le relevé automatique des intensités des pixels le long d'une ligne ou dans une zone d'image (fig. 13). Les outils de traitement sont semblables à ceux décrits ci-dessus, mais d'une part, ils sont étendus à une grandeur variant sur 256 niveaux et d'autre part, ils doivent permettre de conserver l'information de luminance qui est évidemment essentielle ; parmi les outils "classiques", on trouve le calcul de gradients, les transformations réversibles de l'histogramme, les lissages en intensité, le filtrage fréquentiel, etc.

Ce que nous voulons souligner ici avec l'exemple de l'optique, c'est l'extension des outils de comparaison aux modèles théoriques. Ceux-ci peuvent en effet exploiter les possibilités graphiques de l'ordinateur pour synthétiser les images des variations d'intensité et donc, en quelque sorte, **concrétiser le modèle**. Ainsi on peut obtenir l'image "synthétisée", issue du calcul numérique effectué à partir des expressions théoriques (après avoir spécifié la longueur d'onde, la largeur diffractante, etc.). Les figures de diffraction (Fraunhofer) par des pupilles rectangulaires ou circulaires sont faciles à obtenir (20) : la forme générale, mais aussi les variations d'intensité lumineuse (et même l'impression de couleur) peuvent être rendues (fig. 14).

l'image calculée

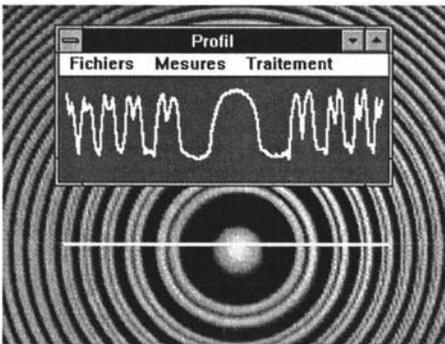


Fig. 13. Exemple de relevé d'un profil d'intensité sur une image numérisée (figure d'interférence, Perot-Fabry)

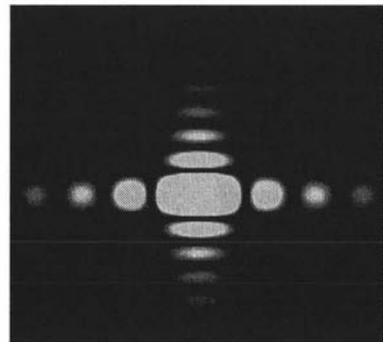


Fig. 14. Image issue du calcul théorique d'une figure de diffraction par une ouverture rectangulaire

(19) Nous évoquons le cas d'une acquisition directe à partir d'une caméra branchée sur une carte de numérisation ; mais il est également possible d'envisager la réalisation de clichés photographiques (documents papiers de très bonne définition, facilement distribuables) et d'en faire une image numérique (de moindre qualité nécessairement) à l'aide d'un scanner.

(20) Le cas de la pupille circulaire est intéressant car le calcul analytique conduit à une intégrale qui n'est calculable que numériquement (fonctions de Bessel).

3. DES UTILISATIONS AVEC ÉLÈVES ET ÉTUDIANTS

Ces différents logiciels ont été utilisés avec des élèves de classes scientifiques de lycées et avec des étudiants de DEUG. En phase d'élaboration, les expérimentations permettent de prendre en compte de nouvelles contraintes matérielles et conduisent en général à une amélioration des logiciels eux-mêmes. Ensuite, le travail d'expérimentation est plus tourné vers la définition d'activités et le relevé d'informations précieuses sur les aptitudes et les attitudes des élèves. Nous ne donnons ci-dessous que le schéma de quelques-unes de ces activités (21) nous permettant de souligner quelques aspects didactiques.

3.1. L'étude d'un mouvement particulier : quand le fil casse...

En classe de Première S les mouvements sont étudiés sur le plan énergétique. Les élèves apprennent l'utilisation des différents concepts d'énergie, et savent qu'un système conservatif possède une énergie mécanique constante. L'activité ci-dessous, conduite à la fin des cours et TP sur la partie énergie du programme, visait la mobilisation et l'utilisation des connaissances des élèves pour étudier un mouvement "non standard".

La chronophotographie suivante (fig. 15) montre le mouvement d'une balle accrochée à un fil : lancée vers la gauche, elle décrit d'abord un arc de cercle, puis, sa vitesse étant trop faible, elle "décroche" et retombe suivant une trajectoire parabolique... jusqu'à ce que le fil se casse.

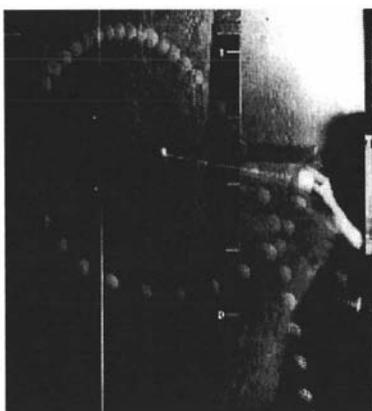


Fig. 15. Chronophotographie du mouvement d'une balle accrochée à un fil

(21) D'autres exemples détaillés sont donnés dans le rapport de recherche (INRP, 1992) ; voir également BEAUFILS, LE TOUZÉ, 1993.

Les élèves doivent, à partir de mesures effectuées sur l'image, déterminer avec précision l'instant du "décrochage" et celui de rupture du fil. Puis, à partir de ces mêmes mesures, ils doivent calculer les différentes énergies pour étudier la conservation (ou la non-conservation) de l'énergie mécanique. Ils doivent ensuite interpréter les différents résultats.

l'étude
d'un phénomène
par le jeu de
confrontation
entre
la photographie
et des
représentations
abstraites

Pour conduire ce travail, les élèves ont utilisé le dispositif avec la tablette à numériser décrit précédemment (fig. 3). Disposant d'une copie de la photographie, ils ont ainsi réalisé le relevé des coordonnées des positions successives de la balle. Ils ont alors pu obtenir les représentations de la trajectoire, de la distance au centre en fonction du temps, et des différentes énergies en fonction du temps également. Parmi les représentations qui ont été considérées comme pertinentes par les élèves, figurent celle de la distance au centre (fig. 16) qui permet de repérer les trois phases du mouvement, et celle de l'énergie mécanique sur laquelle on peut voir à la fois les phases de conservation de l'énergie et l'effet dissipatif de la cassure (fig. 17) (22).

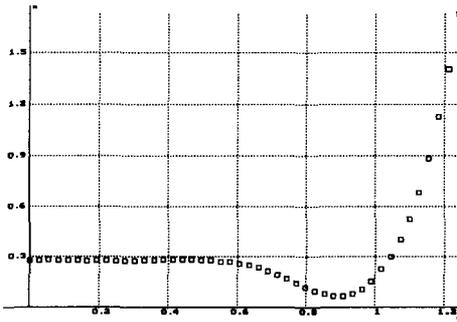


Fig. 16. Distance au centre en fonction du temps

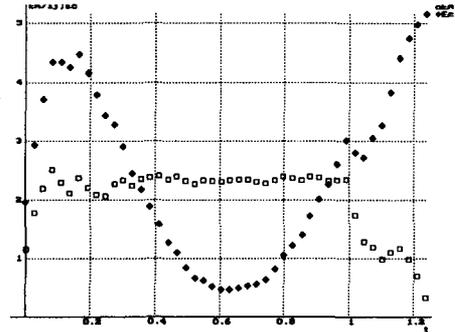


Fig. 17. Variation des énergies mécanique et cinétique au cours du temps

La grande motivation observée chez les élèves s'explique par différents points : d'abord, sans aucun doute, celle liée à la chronophotographie, qui outre sa composante "esthétique" (23), constituait le seul accès au phénomène (sinon invisible) ; ensuite celle liée à la manipulation autonome des dispositifs informatisés ; et enfin, celle du "challenge" ainsi

- (22) Les copies d'écrans sont celles du logiciel général de modélisation (Regressi) que les élèves ont appris à utiliser ; les mesures effectuées avec le logiciel Table ayant été transférées par un fichier standard.
- (23) Le mot recouvre en fait différents aspects : une esthétique plastique réelle mais donc subjective, et une esthétique liée à un réalisme reconnaissable (il ne s'agit pas d'une photographie ne montrant que des taches blanches se détachant sur un fond noir).

proposé. En effet, il était clair pour les élèves que cette étude manifestement non élémentaire leur était donnée avec les moyens de réaliser la tâche : les connaissances de physique qu'ils avaient apprises et les outils de mesure et de traitement informatisés ; dès lors c'est bien de leur sagacité et de la qualité du travail qu'allait dépendre l'aboutissement de ce travail d'investigation scientifique.

Comme pour toutes les situations de ce type, les élèves ont maîtrisé la partie "technique" des différentes manipulations mais ont éprouvé quelques difficultés dans la lecture et l'interprétation des graphiques en liaison avec le phénomène : hésitations, imprécisions, erreurs parfois. Mais on aura ici bien à l'esprit que ces difficultés ne sont pas "sanctionnables" : elles sont représentatives de l'effort intellectuel nécessaire pour **associer les portions de courbes aux différentes phases du mouvement qu'il faut se représenter dans sa dynamique à partir de la photographie**, et constituent bien évidemment un élément formatif très fort de ce travail.

3.2. Le mouvement d'un gymnaste : soleil à la barre et sortie en salto tendu

L'étude du mouvement d'un gymnaste effectuant un soleil à la barre fixe suivi d'une sortie en salto tendu (analyse des différentes phases du centre de masse) a été proposée à des étudiants de DEUG 2ème année, dans le cadre de leur stage de physique (24). L'objectif formatif était double : offrir l'occasion, comme pour l'exemple ci-dessus, de mettre en œuvre leurs connaissances de physique pour étudier un mouvement complexe et, composante importante du travail, les amener à prendre en charge la conduite d'une démarche complète depuis la spécification du protocole expérimental jusqu'à la production d'un rapport scientifique. La tâche a bien évidemment été rendue réalisable par la mise à disposition de moyens d'enregistrement (caméscope), de numérisation (carte spécifique), de mesurage (logiciel Image) et de calcul (ordinateur).

La phase théorique a ainsi porté sur la manière de modéliser le corps humain pour pouvoir calculer la position du centre de masse du gymnaste et son moment d'inertie. La prise de vue a été réalisée en gymnase avec un enseignant de gymnastique. L'enregistrement a ensuite été numérisé image par image (fig. 18) et l'exploitation a commencé par le relevé des coordonnées successives des différents points de repérage du corps : tête, main, coude, épaule, hanche, genou et talon. À partir de ces données, les étudiants ont pu représenter le mouvement du gymnaste (25) par une silhouette fil de fer (kinogramme, fig. 19), calculer les coordon-

l'étude complète
d'un système
complexe

de la mise
au point du
protocole à
la modélisation
biomécanique

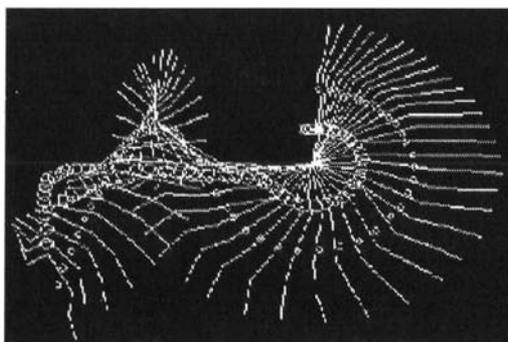
(24) Organisé et suivi par Alain GUILLON, Université Cergy-Pontoise (INRP 1992), voir également BEAUFILS *et al.* (1994).

(25) Les étudiants ont pour cela écrit un petit logiciel spécifique.

nées du centre de masse et étudier la vitesse V_x en fonction du temps, en particulier déterminer l'instant de transition entre les deux phases du mouvement (circulaire puis parabolique).



**Fig. 18. Mouvement du gymnaste ;
une des images numérisées**



**Fig. 19. Kinogramme reconstitué à partir
des relevés sur les images successives**

Dans ce cas encore, la manipulation "technique" des outils d'enregistrement vidéo, de numérisation, de mesure, etc. n'a pas soulevé de difficultés importantes, et c'est essentiellement la planification du travail, l'analyse critique des résultats et la rédaction d'un compte rendu scientifique qui ont demandé de l'aide de la part de l'enseignant. La question de l'importance à accorder à la réalisation de l'enregistrement se trouve posée. Lorsqu'un document tout fait est donné aux élèves, la critique des enseignants est généralement immédiate : "il faut que les élèves manipulent !" Or cet exemple montre que vouloir étudier des situations plus ouvertes peut être difficilement compatible avec leur reproduction en classe et que faire réaliser un enregistrement satisfaisant par chaque élève peut être rédhibitoire. Par ailleurs, il faut avoir à l'esprit que la manipulation d'objets *ad hoc* tels que "bille de la chute", mobile autoporteur, etc., ne constitue de façon indiscutable, ni un argument de réalisme, ni une aide didactique.

4. DES QUESTIONS POUR LA DIDACTIQUE

Les images peuvent-elles favoriser l'activité de l'élève dans les différents registres de l'apprentissage des sciences ? Quels types d'images peuvent être en interaction forte avec des activités didactiques, et comment ? Les exemples que nous avons fournis donnent **quelques éléments de réponse dans le cadre d'une orientation précise : celle où l'image est un élément d'une activité d'investigation**

une imagerie
scientifique dans
l'enseignement
de la physique ?

scientifique. Nous pouvons dire qu'à "l'image pour montrer" nous avons préféré "l'image pour faire", nous inscrivant implicitement dans une conception du "*learning by doing*" : l'apprentissage c'est aussi la consolidation et la structuration des connaissances, et celles-ci passent par la mise en œuvre, voire la mise à l'épreuve, des savoirs et savoir-faire enseignés (26).

Notre travail a ainsi comporté plusieurs parties : recherche de pratiques pouvant être prises en référence, propositions de transposition d'outils et d'activités, réalisation de logiciels et propositions et expérimentations de démarches d'investigation scientifique nouvelles avec des élèves. Au-delà de cette présentation d'un travail "d'innovation didactiquement contrôlée", nous pensons avoir montré que les différents aspects concernant la manipulation des images, la lecture des graphiques, la maîtrise des outils de modélisation sont autant de sources de questions et donc autant de sujets d'études qu'il conviendrait de mener, tant sur le plan didactique proprement dit (c'est-à-dire en liaison forte avec les contenus, leurs définitions et leur enseignement), que sur le plan des sciences cognitives (et qui dès lors sortent en partie de la problématique initiale).

de l'innovation
au
questionnement
didactique...

Il nous semble en particulier, qu'un travail important serait à mener sur ce que nous pourrions peut-être appeler "la distanciation due à l'image" : comme nous l'avons évoqué précédemment, le fait d'accéder au phénomène uniquement à travers son enregistrement est en effet souvent perçu comme une perte de réalisme : les élèves perdent le contact avec le réel, avec la réalité du phénomène. La question se pose sur le plan des apprentissages : s'il est sans doute vrai que la manipulation est un facteur de concrétisation favorisant la construction de représentations mentales, il semble légitime de penser que la possibilité de "manipuler" le film, en le passant au ralenti, image par image, en avant ou en arrière, en marquant les positions successives de telle ou telle partie, etc., est une activité non seulement tout aussi concrète, mais qui permet "d'entrer dans le phénomène" d'une manière telle qu'aucune observation en direct, aussi attentive qu'elle soit, ne permettrait de faire. Mais la représentation mentale du réel est-elle accessible par la vision de représentations imagées ? La lecture d'une image n'est-elle pas nécessairement en profondeur, à la fois dans la profondeur "historique" de l'image (son origine) mais aussi dans la profondeur de la connaissance. En d'autres termes l'important est peut-être que l'élève puisse finalement **travailler non pas sur l'image mais dans "l'épaisseur de l'image"** : ce n'est pas l'image que l'élève doit voir, mais le phénomène qui s'y trouve (et qui s'y trouve caché pour le non initié). Et

(26) Ceci est en effet cohérent et compatible avec l'introduction d'outils élaborés qui nécessitent une connaissance minimale et des outils et du domaine.

la didactique
interpellée

là, peut-être avançons-nous vers un point de vue assez général puisque être initié peut signifier suivant les cas, "avoir fait l'expérience qui a permis de filmer le phénomène" (l'élève "voit" alors l'expérience dans le film), ou "avoir les connaissances théoriques nécessaires" (cas des images de l'invisible ou du quasi-invisible, en particulier, telles que peuvent être celles de l'univers lointain, de l'univers moléculaire ou de l'intérieur du corps).

Enfin, la question est souvent posée sur un plan plus ambigu, celui d'une pédagogie teintée d'épistémologie reposant sur l'idée un peu vague d'une unique "vraie physique", celle que l'on fait "avec les mains" ; or, non seulement l'unicité implicitement énoncée est facilement contestable (27), mais peut-être est-il temps de se demander si cette image n'est pas désuète, ne valant guère que pour la physique galiléenne enseignée au lycée ! Mais peut-être l'arrivée des nouvelles technologies dans l'enseignement scientifique est-elle l'indice d'un tel changement ?

Daniel BEAUFILS
Jean-Claude LE TOUZÉ
Bernard RICHOUX
Hélène RICHOUX
Département Technologies nouvelles
et éducation
INRP

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEAUFILS D. (1988) - "Images assistées par ordinateur : avec des images faire de la physique d'abord", in *Actes des troisièmes journées "Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques"*, UDP-INRP, 117-122.

BEAUFILS D. (1992) - *Ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques, propositions pour la construction d'activités, première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves de lycée*, LIREST, Université Paris 7.

BEAUFILS D. (1993a) - "L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : propositions et implications didactiques", *Didaskalia*, n°1, 123-130.

BEAUFILS D. (1993b) - "Constructions d'activités scientifiques en classes de lycée : à propos de l'ordinateur outil de laboratoire", in *Actes du colloque "Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres"*, Paris : INRP.

(27) L'astrophysique ne serait-elle pas de la "vraie physique" ? (par exemple...)

- BEAUFILS D., LE TOUZÉ J.-C. (1992) - *Activités expérimentales sur l'image avec l'ordinateur : enseignement de la physique*, INRP, rapport interne n°92-4-09, 160 p.
- BEAUFILS D., LE TOUZÉ J.-C. (1993) - "Images et nouvelles technologies pour l'enseignement de la physique", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°758, 1343-1365.
- BEAUFILS D., LE TOUZÉ J.-C., BLONDEL F.-M. (1994) - "Images as a basis for computer modelling", *Physics Education* (29), 89-93.
- BEAUFILS D., BLONDEL F.-M., LE TOUZÉ J.-C., GUILLON A. (1994) - "Datalogging and Modelling of Motion in Physics Learning", in *Actes de la "International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering (CALISCE'94)"*, Paris, 313-320.
- BLONDEL F.-M., FRUITET J. (1992) - *Titus, traitement d'images et télédétection, Manuel d'utilisation*, 51p.
- BOUTHEMY P., TZIRITAS G. (1991) - "De l'image animée à la mesure du mouvement", *Le Courrier du CNRS, Signaux et Images*, n°77, 98-99.
- CARFI (1992) - *Une nouvelle approche de la mécanique, Brochure CARFI*, n°42, Versailles : CARFI, 120p.
- CHEVALLIER G., MONCLIN A. (1995) - "Miroirs et roues dentées : du laboratoire au cinéma", *Les Cahiers de Sciences & Vie*, n°25, hors série : *Comment on a réussi à mesurer la vitesse de la lumière*, 68-85.
- CNRS (1987) - Imagerie scientifique, *Courrier du CNRS*, n°spécial 66-67-68.
- CNRS (1991) - Signaux et Images, *Courrier du CNRS*, n°77.
- CNRS (1992) - La recherche et le sport au CNRS, *CNRS Info*, numéro spécial, juin 1992.
- Collectif (1995) - *Marey, pionnier de la synthèse du mouvement*, Beaune : Musée Marey, diffusion : Seuil, 160 p.
- DUBOY J., JUNQUA A., LACOUTURE P. (1994) - *Mécanique humaine, élément d'une analyse des gestes sportifs en deux dimensions*, Revue EPS, 224 p.
- DUREY A. (1987) - *Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs*, thèse, Université Paris 7, 320 p.
- DUREY A., MARTINAND J.-L. (1994) - "Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de référence et activités scolaires", in *La transposition didactique à l'épreuve*, Grenoble : La pensée sauvage, 73-104.

FORT B. (1991) - "Imagerie CCD de l'univers lointain", *Courrier du CNRS*, Signaux et Images, n°77, 20-21.

GLOVER D.M. *et al.* (1989) - "The CCAT videodisk - a new resource for physics education", *Phys. Educ.* vol 24,5,304-308.

GRAHAM G.R. (1991) - "Let's see it for real - a new medium for an old message", *Phys. Educ.*, vol 26, 6,355-358.

GUILLOIN A. (1992) - "Travaux pratiques de physique en DEUG et démarches scientifiques", in *Actes du 3ème Séminaire national de Recherche en Didactique des Sciences physiques*, Toulouse : université P. Sabatier, 11-24.

INRP (1987) - *Du satellite à la classe*, collection Rencontres pédagogiques n°17, Paris : INRP, 126 p.

LÉARD M. (1988) - "Images et sciences physiques", in *Journées Informatique et Sciences Physiques, Actes des troisièmes journées*, Udp : Grenoble, 39-46.

LE TOUZÉ J.-C., BEAUFILS D. (1992) - "Des images numérisées en physique ?", in *Actes des journées "Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques"*, Paris : UDP-INRP, 75-80.

MOTTET G. (1994) - "Des images pour apprendre les sciences", in *Actes du colloque Audiovisuel et formation des enseignants*, INRP : Paris, 117-146.

OVERCASH D.R. (1987) - "Video analysis of motion", *Physics Teacher*, n°8, vol. 25.

SALAMÉ N., BEAUFILS D., BLONDEL F.-M. (1993) - "From Research Software to Practical Activities in Science Learning", in *Informatics and Changes in Learning*, Proceedings of the IFIP Open Conference, Knierzinger A. & Moser M. (Eds), 13-13.

WINTHER J. (1992) - *Étude didactique des utilisations de l'informatique dans la modélisation et la manipulation de modèles en sciences physiques*, thèse, Université Paris 11, 311 p.

RÉFÉRENCES DE LOGICIELS

Dans cet article, différents logiciels ont été utilisés pour illustrer les exemples. Certains ne sont actuellement que sous forme de prototypes d'expérimentation ; d'autres sont commercialisés depuis plusieurs années.

TABLE

BEAUFILS D., LE TOUZÉ J.-C. - Logiciel "outil de laboratoire" pour l'étude de mouvements plans dans le champ de pesanteur, documentation pédagogique et documents d'accompagnement, version DOS, coédition CNDP-INRP, 1992.

IMAGE

BEAUFILS D., LE TOUZÉ J.-C. - Logiciel d'exploitation d'images numérisées pour l'étude des mouvements (logiciel, série d'images numérisées, documentation pédagogique et manuel de référence), version DOS, coédition INRP-CNDP, 1993.

REGRESSI

MILLET J.-M. - Logiciel général d'acquisition et de modélisation, environnement DOS, édition DLC-MICRELEC

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES, VOIE ROYALE POUR AMÉLIORER L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES PAR L'IMAGE ?

Richard Lowe

Dans l'enseignement des sciences, les schémas (1) constituent une forme importante d'information visuelle ; ils exigent des capacités d'interprétation spécialisées et peuvent donc poser des problèmes particulièrement délicats à des étudiants novices dans un domaine scientifique. Par ailleurs les progrès de l'informatique offrent d'énormes possibilités d'affichage et de manipulation d'informations visuelles. La question se pose alors de savoir si ces traitements informatiques, tels que l'animation interactive, peuvent contribuer à améliorer l'efficacité de l'apprentissage des sciences à partir de schémas. Caractériser cet apprentissage comme lié à la construction, par l'étudiant, d'un modèle mental approprié, revient à donner un rôle-clé au traitement cognitif correct d'un schéma. Cet article s'intéresse à l'utilisation d'outils multimédias pour l'apprentissage à partir de schémas. Il étudie les différentes façons dont les principes dérivés de la psychologie cognitive pourraient être appliqués au traitement classique et au traitement informatique des schémas scientifiques, dans le but de faciliter la construction de modèles mentaux à partir de ces schémas. L'application de ces principes à quelques exemples de schémas montre que c'est la prise en considération du traitement "humain" de l'information, plutôt que celle du traitement informatique, qui est probablement essentielle pour que les outils informatiques améliorent l'apprentissage des sciences à partir de schémas.

Les multimédias ont été considérés comme une innovation des plus attrayantes dans le domaine des techniques d'enseignement. Ils ont tout particulièrement excité l'imagination des enseignants en sciences. Le potentiel éducatif de cette nouvelle technologie tient aux capacités de plus en plus grandes des ordinateurs personnels qui permettent de manipuler, avec la plus grande souplesse, toutes sortes d'outils d'information sur un dispositif de présentation unique. En utilisant un format numérique sous-jacent commun pour des médias aussi divers que du texte, des images, du son, de l'animation et de la vidéo, l'informatique permet, à la fois, de les fusionner et de les manipuler pratiquement à l'infini, via des dispositifs de traitement de l'information disponibles sur les ordinateurs.

les capacités
des multimédias

(1) C'est le terme anglais "diagram" qui est ici traduit par le mot "schéma", en lui donnant un sens plus large que celui qui lui est attribué habituellement (voir par exemple des auteurs comme J.-F. Vezin ou D. Jacobi).

Cet article se centre sur les capacités graphiques des systèmes multimédias ; ces capacités ont en effet été mises en avant par ceux qui en vantent les mérites comme support de l'apprentissage et elles ont bénéficié d'une grande attention de la part des fabricants de ce type de matériel. Il porte quelques questions et points de vue à l'attention des enseignants en sciences qui considèrent que l'animation et l'interactivité, possibles grâce à ces outils, devraient permettre d'améliorer l'apprentissage des sciences à partir de schémas.

Trois points justifient l'intérêt de cette mise au point :

- les schémas jouent un rôle-clé dans l'enseignement des sciences ;
- les capacités de traitement visuel des ordinateurs personnels ont récemment atteint un niveau tel qu'il est désormais relativement facile de manipuler de façon sophistiquée du matériel graphique ;
- l'utilisation courante des schémas dans l'enseignement assisté par multimédia semble, pour une grande partie, reposer largement sur l'intuition ou sur des hypothèses simplistes et fort vagues relatives tant aux images qu'à l'apprentissage.

1. LES SCHÉMAS, EN TANT QUE LANGAGE SCIENTIFIQUE

schéma langage

La pensée et la communication scientifiques se caractérisent par l'utilisation de langages extrêmement spécialisés. Ils diffèrent fondamentalement du langage quotidien par de nombreux aspects. Autant que la prose scientifique et que les différents types de mathématiques utilisés pour exprimer des idées scientifiques, la vaste gamme des représentations graphiques que l'on rencontre dans les différents domaines scientifiques constitue un type de langage qui exige souvent une considérable expertise interprétative. Aujourd'hui, dans la plupart des domaines scientifiques, on utilise de nombreux types d'images pour représenter des structures, des processus et des concepts scientifiques. Dans certains cas, ces images fournissent des descriptions très réalistes de l'objet dont elles traitent, de telle sorte que même un novice dans le domaine considéré serait capable de voir la ressemblance entre schéma et objet. Mais la Science se caractérise par le fait qu'elle utilise de nombreuses représentations extrêmement abstraites où la correspondance entre l'image et son référent n'est absolument pas évidente. Globalement, l'ensemble des types de schémas utilisés en sciences peut être considéré comme un continuum allant du très réaliste au très abstrait.

du schéma
réaliste au
schéma abstrait

Le degré de ressemblance entre une image et son référent n'est pas simplement fonction de la technique utilisée pour produire cette image. Par exemple, bien que les images pho-

tographiques puissent être extrêmement réalistes, la photographie et les techniques connexes sont de plus en plus utilisées pour produire des représentations extrêmement abstraites telles que les images infrarouges envoyées par satellite, ou les images d'organes du corps obtenues par scanner. De la même façon, les dessins "au trait" (par opposition à "générés automatiquement" comme les photographies) peuvent présenter de façon plus ou moins réaliste ou abstraite l'objet dont ils traitent. Cet article s'intéresse essentiellement au type de schémas qui se trouve vers le pôle abstrait du continuum de l'ensemble des dessins scientifiques. Il n'existe pas de définition d'un "schéma", reconnue par tous dans les publications ; vu la grande variété de ce qui est appelé "schéma", il ne serait en effet pas raisonnable d'escompter une définition précise de cette catégorie. Dans le cadre de cet article, on utilisera le terme de schéma essentiellement pour faire référence à des dessins scientifiques au trait, chargés de représenter certaines caractéristiques, comportant un certain niveau d'abstraction et de simplification et utilisant des conventions de codage propres à des domaines spécialisés.

vous avez dit
"schéma" ?

Au même titre que de nombreux autres langages utilisés en sciences, les schémas ont des caractéristiques et un contenu spécifiques dont l'interprétation peut être beaucoup plus difficile, pour un novice d'un domaine scientifique donné, que ne l'est l'interprétation des images banales rencontrées dans la vie quotidienne. C'est là un véritable problème : les schémas sont trop souvent simplement considérés comme un outil explicatif bénéfique et non pas comme une forme sophistiquée de représentation, mettant en jeu un codage dont la maîtrise est requise pour l'acquisition du contenu scientifique qu'ils traduisent. Si l'outil informatique était capable de faciliter ce processus exigeant d'interprétation des schémas, il pourrait contribuer à amplifier l'intérêt de ces derniers en tant qu'aides à l'apprentissage des sciences.

interpréter
les schémas

2. MULTIMÉDIAS ET EFFICACITÉ DE L'ENSEIGNEMENT

Dans la forme qu'il revêt actuellement, l'enseignement des sciences informatisé risque de ne pas s'avérer à la hauteur du potentiel qu'offre la technique pour rendre l'utilisation de schémas plus efficace. Différentes raisons peuvent être avancées, mais cet échec pourrait être dû à une difficulté sous-jacente à l'utilisation même traditionnelle des schémas. De nombreux fabricants de matériel informatique font appel en effet à des méthodes pédagogiques qui méconnaissent, dans une large mesure, les recherches, tant théoriques qu'empiriques, sur le processus d'apprentissage humain. Ces fabricants semblent avoir une foi très naïve dans l'infor-

effet de
motivation et
outil cognitif

matique, ils semblent convaincus que les ordinateurs sont, en quelque sorte, intrinsèquement capables d'améliorer l'apprentissage. Une telle croyance est extrêmement préoccupante : l'efficacité de l'enseignement est trop souvent considérée comme étant fonction de la valeur motivationnelle d'une présentation, des performances faibles étant presque exclusivement attribuées à des facteurs affectifs. D'un tel point de vue, la principale fonction des images dans les aides didactiques consiste à éveiller et retenir l'intérêt de l'élève. Par exemple, la raison essentielle de l'animation interactive d'un schéma serait de le rendre plus attrayant. Bien que l'animation puisse, sans aucun doute, être un moyen intrinsèque de motivation, il faut néanmoins faire la distinction entre la poursuite d'objectifs affectifs et la poursuite d'objectifs cognitifs. Si les effets motivants sont hautement souhaitables, ils ne peuvent dispenser d'une explication claire si le sujet traité est difficile à comprendre ou à mémoriser.

le mirage des
multimédias

L'étude des sciences est exigeante et il ne faut pas se priver du caractère motivant des schémas, en particulier dans un contexte multimédia, mais l'objet central de nos préoccupations doit cependant être leur fonction cognitive.

S'imaginer qu'il est possible d'obtenir un bénéfice éducatif du seul fait que le support de l'information (sous forme de schémas ou autre) est multimédia, c'est ne pas se rendre compte de la nature complexe du processus d'apprentissage. En effet, ce qui compte beaucoup plus dans toute situation pédagogique, ce sont les caractéristiques de celui qui apprend, la nature du contenu et la façon dont l'élève interagit avec le matériel présenté. Il est donc parfaitement possible, pour un étudiant, d'apprendre plus d'une discussion bien conçue, conduite par un enseignant autour d'un schéma statique, que d'une proposition multimédia d'animation interactive dépourvue de réflexion didactique. Par exemple, il n'est absolument pas garanti qu'une présentation multimédia, dans laquelle l'étudiant clique sur des boutons interactifs sur un schéma affiché à l'écran sera aussi efficace qu'un exercice papier crayon mis au point avec soin et impliquant, de la part de l'étudiant, la manipulation d'idées relatives au schéma pendant l'exécution du dessin. Toutefois, il semble inévitable, qu'à l'avenir, les outils multimédias joueront un rôle croissant dans l'enseignement des sciences ; il convient donc d'étudier leur potentiel en tant qu'outils d'apprentissage à partir de schémas.

Des auteurs tels que Levin, Anglin et Carney (1987) ont identifié une série de fonctions distinctes que les images peuvent assurer.

3. MULTIMÉDIAS PRODUITS PAR DES ENSEIGNANTS

facilité d'emploi
des "paquets
multimédias
créatifs"

Bien que la plupart des outils multimédias destinés à l'apprentissage des sciences soient produits par des fabricants du secteur privé (commercial) ou des institutionnels, l'arrivée sur le marché de "paquets multimédias créatifs" puissants mais faciles à utiliser va de plus en plus permettre aux enseignants de produire leurs propres outils d'enseignement multimédia. Avec de tels outils de création et la vaste gamme de logiciels sophistiqués de manipulation graphique disponibles à l'heure actuelle, il est relativement simple, pour un enseignant, de transformer un schéma scientifique passif, statique, en un schéma à la fois dynamique et interactif. Toutefois, il ne faut pas confondre les capacités techniques nécessaires pour réaliser de telles transformations avec la question de savoir si l'animation *per se* aura, ou non, des conséquences cognitives souhaitables sur le plan de l'apprentissage des sciences. En fait, il est probable que, dans certains cas, mieux vaut utiliser des schémas statiques plutôt que des schémas dynamiques pour certains types de contenu scientifique. Néanmoins, puisqu'il existe bel et bien une tendance inexorable vers l'utilisation de représentations interactives, de telle sorte que cette idée s'impose aux utilisateurs, il convient d'envisager comment de telles représentations devraient être utilisées en vue d'aboutir au meilleur résultat possible dans le cadre des contraintes existantes. Trouver les moyens par lesquels l'apprentissage impliquant l'utilisation de schémas scientifiques bénéficierait véritablement d'un traitement informatique est une question complexe, un véritable défi, parce que se trouvent impliqués à la fois le contenu spécifique représenté dans le schéma et la forme dans laquelle ce contenu est décrit. Idéalement, la conception d'un traitement informatique d'un schéma devrait tenir compte de la façon dont les étudiants réagissent par rapport au contenu et à la forme. Ce dont on a besoin, ce sont de lignes directrices, établies à partir de la théorie, et proposant des méthodes d'animation et d'interaction appropriées à un schéma et à une tâche d'apprentissage donnés.

Étant donné les difficultés pratiques auxquelles se heurte l'enseignant pour mettre au point ou obtenir pour sa classe du matériel d'enseignement, ce n'est pas la peine d'espérer que toutes les décisions pédagogiques seront prises en se fondant sur des résultats de recherche pertinents par rapport à chacun des éléments du contenu devant être pris en compte. L'étendue des résultats disponibles est actuellement insuffisante et il est peu probable que les enseignants, pris individuellement, aient les moyens d'explorer la façon dont les étudiants interagissent avec chaque élément spécifique du contenu d'enseignement. Il ne s'agit pas de nier l'importance fondamentale de la "recherche orientée

entre forme et
contenu des
schémas...

c'est la forme qui
est étudiée ici

les apports de
la psychologie
cognitive

contenu", telle que celle qui traite des conceptions erronées et du changement conceptuel. Mais les enseignants et autres "développeurs" potentiels de multimédias éducatifs (tels que les concepteurs pédagogiques) sont confrontés dans l'immédiat à la tâche qui consiste à produire des outils éducatifs dans l'état actuel des connaissances, quand bien même celles-ci ne sont pas adéquates. S'il est relativement difficile de résoudre cette question du **contenu** d'un schéma scientifique, il semble que l'on puisse fonder plus d'espoirs sur la façon dont la **forme** d'un schéma pourrait être travaillée, *via* l'informatique, en vue d'aider l'élève. S'intéresser à la forme des schémas est particulièrement pertinent dans la mesure où la présentation multimédia se préoccupe souvent de cet aspect mais, généralement, d'une façon très superficielle, intuitive. Un travail de la forme, plus fondé sur des principes, tirant parti des capacités de l'informatique, pourrait faire progresser dans la voie de la production d'outils d'apprentissage à partir de schémas plus valables. C'est pourquoi cet article ne s'intéresse pas aux questions relatives au contenu des schémas mais se centre, en revanche, sur les lignes directrices qui devraient être utilisées pour modifier la forme des schémas lorsqu'on les fait passer d'un décor "classique" à un environnement multimédia.

Il existe plusieurs traditions de recherche, notamment celles de la sémiologie, de la phénoménologie et de la psychologie cognitive, qui pourraient fournir des cadres appropriés à partir desquels pourraient être établies de telles lignes directrices. Du fait de leurs perspectives différentes, ces traditions mettent l'accent sur des éléments différents et se situent à des niveaux d'analyse également différents ; ces approches devraient s'avérer complémentaires, toutefois nous nous limiterons, dans le cadre de cet article, aux quelques lignes directrices possibles que l'on peut tirer de la psychologie cognitive. Les considérations théoriques sur la façon dont nos esprits construisent et utilisent des représentations **internes** d'une information rencontrée sous la forme de schémas, qui sont des représentations **externes**, sont alors essentielles. Bien que de nombreuses recherches soient encore à faire dans ce domaine, il existe à l'heure actuelle sur le sujet une documentation considérable qui ne cesse de croître (Hegarty, 1992 ; Larkin & Simon, 1987 ; Lowe, 1993a, Lowe 1994b ; Mayer & Anderson, 1992 ; Mayer & Sims, 1994 ; Schnotz & Kulhavy, 1994 ; Winn, 1991) ; elle devrait fournir des indications aux fabricants de multimédia. Ces documents constituent la base d'une approche de principe permettant de prendre des décisions : quels types d'aspects dynamiques inclure, quelle quantité d'informations présenter, quels types d'informations utiliser, quels traitements de l'information proposer, quelles formes d'interaction fournir ?

4. SCHÉMAS ET SYSTÈMES SCIENTIFIQUES

La fonction générale des schémas est d'aider les étudiants à se familiariser avec les systèmes scientifiques en jouant sur leur rôle d'aide à la construction de modèles mentaux de ces systèmes (Mayer & Gallini, 1990). Les modèles mentaux sont conceptualisés comme des modèles construits, dans leur esprit, par les individus et fonctionnent comme des **représentations internes de systèmes scientifiques externes** ; ils ont les caractéristiques-clés du système ainsi modélisé. Les systèmes, aussi bien physiques que conceptuels, peuvent donner lieu à la construction de modèles mentaux ; ces représentations internes ne sont donc pas limitées à des objets tangibles mais peuvent également concerner des systèmes mettant en jeu des relations entre entités abstraites. Une propriété importante attribuée aux modèles mentaux est la capacité à traiter des modifications dans leur système de référents, capacité permettant inférences et prévisions sur des états inconnus du système (Johnson-Lairds, 1983). Cette propriété repose sur le fait qu'il est possible de "faire tourner" le modèle mental en déroulant le temps dans un sens ou dans un autre afin justement de déterminer ces états inconnus. Nous utiliserons le sismographe décrit à la figure 1 à titre d'exemple sur la façon dont pourrait être constitué un modèle mental de système physique.

se construire un
modèle mental

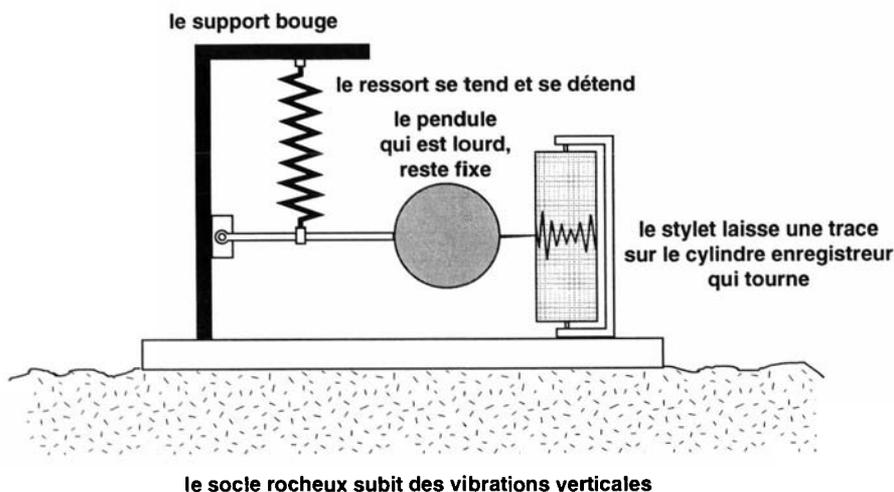


Figure 1. Un sismographe pour enregistrer les mouvements verticaux provoqués par des secousses géologiques

Pour un géologue, le modèle mental construit pour cet appareil contiendrait des témoins des aspects-clés du dispositif (ainsi que de son environnement). Ces indications seraient structurées de façon à ce que soient saisies les relations essentielles entre les éléments de la situation représentée par le modèle mental ; ainsi lorsque le modèle "tourne" dans la tête, un nouvel état peut être généré, état compatible avec la conception scientifique généralement acceptée dans ce domaine. On peut supposer que la construction de modèles mentaux est le résultat de la manipulation, dans la mémoire de travail, d'informations provenant, à la fois de ce que nous recueillons directement du monde extérieur, et des connaissances que nous avons enregistrées dans notre mémoire à long terme. La quantité d'informations que la mémoire de travail peut traiter en même temps étant limitée, l'information externe, telle qu'un schéma, devrait être présentée sous une forme exigeant le minimum de manipulations mentales non essentielles. En d'autres termes, la forme de l'information externe, telle qu'elle se présente, devrait pouvoir être incorporée directement dans le modèle en cours d'élaboration, sans qu'il soit nécessaire de gaspiller des ressources cognitives précieuses pour des transformations mécaniques de cette information.

éviter
le gaspillage
des ressources
cognitives

Pour illustrer ce gaspillage des ressources cognitives, considérons la façon dont les schémas statiques traitent habituellement la dimension temporelle. Les schémas statiques qui utilisent une ligne pour représenter le temps ou une série de cadres distincts, séparés spatialement, pour représenter des modifications temporelles, exigent de l'observateur qu'il traduise l'information, présentée sous forme spatiale, en une information temporelle. C'est pourquoi certains schémas statiques ont dans certains cas une valeur limitée en tant qu'outils cognitifs, en particulier lorsqu'il s'agit de systèmes dans lesquels une appréciation des changements temporels est essentielle pour une compréhension complète du système. Lorsque les étudiants essaient d'apprendre une matière à la fois nouvelle et difficile, il arrive que des difficultés supplémentaires, n'ayant pas un rapport direct avec le contenu, absorbent la totalité des ressources (limitées) disponibles dans la mémoire de travail, gênant ainsi la construction du modèle mental. Si la version dynamique d'un schéma permet de supprimer ce handicap, une certaine capacité de traitement cognitif devrait s'en trouver libérée, pouvant ainsi s'appliquer à des opérations plus profitables à l'apprentissage. Il est important de souligner, en passant, que ce n'est pas un argument ayant visée de généralisation contre les schémas statiques et pour les schémas dynamiques. Il est probable qu'il existe des cas dans lesquels les efforts consacrés à l'interprétation d'un schéma statique sont extrêmement productifs pour l'apprentissage. Essayer de comprendre par quels moyens une description statique peut représenter une situation dynamique peut impliquer des formes intéressantes de traitement facilitant

les avantages
des animations

la construction d'un modèle mental pertinent. Nous ne visons ici qu'à minimiser tout traitement supplémentaire ne présentant pas ce type de bénéfice éducatif.

Pour résumer l'analyse ci-dessus, l'animation d'un schéma peut, dans certains cas, être un moyen d'accroître la probabilité que l'étudiant construise un modèle mental approprié du système scientifique décrit dans un schéma.

Toutefois, pour que les étudiants s'approprient le flux d'informations visuelles présentées dans une animation, il est nécessaire de fournir une explication des événements décrits. Pour les schémas statiques que l'on trouve dans les ouvrages de science classiques, l'explication est fournie par différentes formes de texte écrit, tels que cartouches, légendes ou inclusions dans le corps principal du texte de l'ouvrage. Des études ont montré que l'emplacement de ce texte explicatif peut exercer une influence sur l'efficacité des étudiants à résoudre les problèmes de transfert, les meilleurs résultats étant obtenus avec une disposition du texte étroitement coordonnée au schéma (Chandler & Sweller, 1992 ; Mayer, 1989 ; Mayer & Gallini, 1990). Lorsque l'on passe à un environnement éducatif multimédia, on constate une tendance à utiliser la parole plutôt que le texte pour fournir certaines explications relatives à un schéma. Ce procédé présente l'avantage de disperser l'attention des étudiants puisqu'il n'y a plus deux catégories d'informations visuelles (schéma et texte écrit). Cependant, il semble que la façon dont sont reliées l'information fournie par le schéma et celle fournie par la parole est un facteur important de l'efficacité d'une telle combinaison, des présentations concomitantes favorisant la rétention d'informations plus que des présentations successives (Mayer & Anderson, 1992 ; Mayer & Sims, 1994).

quand la parole
remplace le texte

5. CAPACITÉS D'INTERPRÉTATION DES SCHÉMAS

Pour qu'un schéma soit efficace, en tant qu'outil d'apprentissage, les étudiants doivent pouvoir le traiter de façon pertinente : la signification qu'ils engendrent doit correspondre aux intentions de l'auteur (Lowe, 1993b). Comme évoqué ci-dessus, le traitement peut consister à utiliser le schéma pour construire un modèle mental approprié du contenu décrit. Bien que la capacité à "lire" correctement un schéma soit tout aussi construite, en principe, que la capacité à lire correctement un texte, le processus impliqué dans la lecture d'images a toujours moins retenu l'attention que la lecture de textes. Les opérations impliquées dans l'interprétation d'images sont donc loin d'être aussi bien comprises que celles impliquées dans la lecture de textes. Toutefois, de récents travaux, tant théoriques qu'empiriques, ont commencé à révéler la complexité des tâches d'interprétation

apprendre à
"lire" un schéma

d'une image ainsi que la nature des compétences à mettre en œuvre.

À partir de différents éléments de recherche Winn (1993) a proposé un premier ensemble de quelques traitements fondamentaux impliqués dans l'interprétation d'un schéma. Cet ensemble, ayant pour objectif de rendre compte du processus de recherche de l'information dans les schémas, fournit un cadre utile à l'analyse des compétences que les étudiants doivent acquérir pour utiliser des schémas explicatifs. Il peut aussi servir de base à des suggestions d'ordre général aux concepteurs pédagogiques et aux enseignants pour rendre les schémas plus efficaces en tant qu'outils d'apprentissage. Selon Winn, le traitement des schémas est une tâche non triviale, à la fois complexe et aux multiples facettes, quand bien même ceux qui sont experts dans l'interprétation (les enseignants par exemple) les considèrent comme évidents. Reconnaisant le rôle-clé joué par les facteurs perceptifs dans la recherche d'information dans les schémas, Winn conclut que le facteur le plus important est cependant la connaissance, de la part de l'observateur, du contenu traité. La discussion ci-dessous est consacrée à un ensemble de quatre traitements qui, selon Winn, se déroulent une fois qu'un schéma approprié a été choisi pour être étudié et que les objectifs de recherche sur ce schéma ont été fixés. Ces traitements ont tous quelque chose à voir avec l'extraction de l'information à partir du schéma et sont étudiés ici sous l'angle de leur utilisation possible dans des approches classiques de l'enseignement des sciences. Cette discussion sera suivie de quelques exemples purement spéculatifs sur la façon dont ces traitements devraient être appliqués dans des approches multimédias ayant pour objectif de rendre l'apprentissage à partir des schémas scientifiques plus efficace.

quatre
traitements pour
un schéma

5.1. Discrimination et configuration

Le premier de ces traitements est censé résulter directement de l'impact des constituants du schéma sur le système perceptif de l'observateur. Les caractéristiques visuelles des éléments graphiques du schéma et la façon dont ces éléments sont disposés sont "traitées" **avant** même que l'observateur n'y prête une attention consciente. De ces caractéristiques fondamentales résulte soit une discrimination (éléments perçus comme des entités séparées), soit une configuration (constitution de sous-groupes à l'intérieur de l'ensemble graphique). Lorsqu'un étudiant regarde pour la première fois un schéma, certains symboles ou groupes de symboles peuvent être perçus avant d'autres en raison de leurs caractéristiques visuelles spécifiques (par exemple l'épaisseur du trait, la nuance, la couleur, une forme ou encore une dimension). Ces symboles et groupes de symboles ressortent par rapport à leurs voisins ; ils ont donc tendance à être traités en premier. Dans un schéma bien conçu ou un enseigne-

ce qui saute
aux yeux...

ment à partir de schémas efficaces, les caractéristiques visuelles des différents éléments affichés devraient être travaillées de telle sorte que l'attention de l'étudiant soit attirée vers des aspects pertinents par rapport au contenu. Cette mise en évidence est particulièrement importante pour les étudiants qui manquent de connaissances par rapport au contenu parce qu'ils n'auront pas d'autre base pour sélectionner la zone du schéma dans laquelle ils devront concentrer leur effort de traitement. Il faut s'attendre à ce que les étudiants aient des problèmes pour traiter un schéma si, dans la représentation, tous les symboles et groupes de symboles ont un statut perceptif équivalent ou s'il y a prééminence visuelle d'un aspect sans importance par rapport au contenu scientifique considéré. Une telle situation peut se produire si des considérations d'ordre secondaire, telles que esthétiques ou essentiellement motivationnelles, prennent le pas sur les objectifs principaux, scientifiques, du schéma.

Les enseignants, qui ont déjà une bonne compréhension du domaine représenté, rencontrent sans doute moins de problèmes. Par exemple, même si tous les symboles et groupes de symboles d'un schéma particulier sont traités graphiquement de façon équivalente, les connaissances de l'enseignant par rapport au contenu compensent probablement l'absence de mise en relief de l'information réellement importante (cf. Lowe, 1994a). L'enseignant risque alors de ne pas se rendre compte qu'un tel schéma sera perçu par un étudiant comme un ensemble indifférencié de symboles. C'est pourquoi il est important que les schémas comportent des signes explicites identifiant clairement les symboles et groupes de symboles pertinents. Autrement dit, ceux qui conçoivent des schémas pour l'enseignement doivent différencier clairement par des caractéristiques visuelles les éléments graphiques des schémas là où cela s'avère nécessaire ; la probabilité que les étudiants réalisent les discriminations et configurations appropriées sera alors maximale. Quant à l'enseignant qui utilise des schémas d'où il ne ressort pas clairement quels symboles doivent être discriminés et lesquels configurés, il lui revient d'y ajouter des signes visuels ou verbaux permettant de corriger ce défaut.

... doit être
ce qui est
pertinent

5.2. Systèmes de symboles et de conventions

Le deuxième traitement, évoqué par Winn comme relevant de la recherche d'information dans les schémas, repose sur une connaissance des systèmes symboliques et des conventions de schématisation. Certains aspects d'un schéma sont repérés, non pas en raison de la présence perceptuelle dont ils bénéficient du fait de caractéristiques visuelles spécifiques, mais plutôt parce que leurs symboles sont disposés dans l'espace selon une certaine façon ou associés à des dispositifs graphiques tels que lignes ou démarcations. Par

prendre en
compte les
conventions

exemple, dans un schéma représentant une évolution, des symboles correspondant à des étapes d'un processus peuvent être disposés selon l'ordre chronologique de gauche à droite et reliés par des lignes pour former une unité d'information plus grande. La figure 2 illustre ce type général de disposition, dont l'interprétation est fonction des compétences de lecture de schéma acquises et non de différences dans l'impact perceptuel intrinsèque des éléments qui la composent. Pour traiter correctement l'information, les étudiants ont besoin de connaître la façon dont sont utilisés différents symboles pour représenter différentes fonctions, et différentes conventions graphiques pour organiser ces symboles en un tout chargé de sens. Autrement dit, pour utiliser des schémas de façon efficace, en tant qu'outil d'apprentissage des sciences, l'élève doit d'abord commencer par apprendre le langage spécifique de ces schémas.

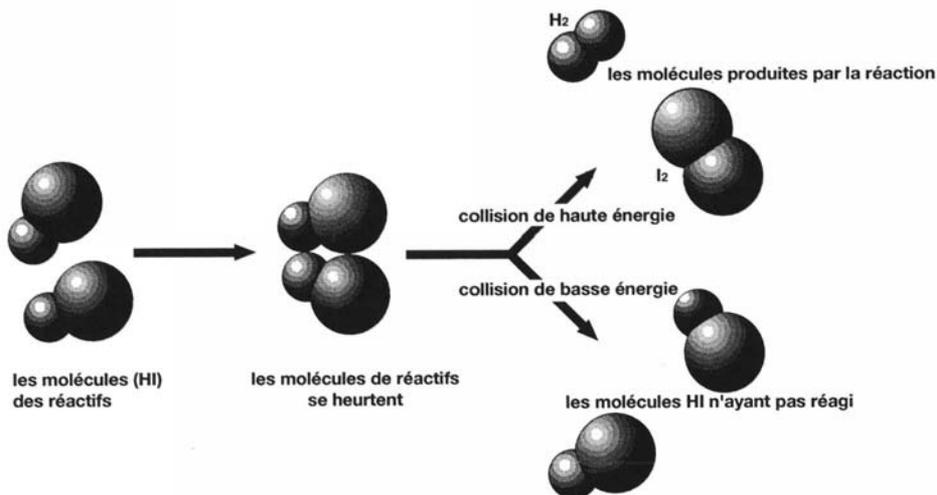


Figure 2. Pour que les molécules réagissent et forment de nouvelles molécules, elles doivent se heurter avec une énergie suffisante.

Avec certains types de schémas manifestement très abstraits (par exemple, le schéma d'un circuit électrique), les enseignants prennent toujours grand soin d'explicitier à leurs élèves le langage qui est utilisé parce que celui-ci leur est de toute évidence totalement étranger. Mais il existe de nombreux schémas, apparemment plus familiers dans lesquels les systèmes de symboles et conventions ne semblent pas justifier une explicitation. Cette impression superficielle peut être extrêmement trompeuse. Par exemple, considérons la pratique largement répandue qui consiste à utiliser des images "réalistes" dans un schéma, pour sa part, beaucoup plus abstrait, approche fréquemment utilisée avec l'intention manifeste de fournir une représentation plus concrète

des apparences
trompeuses

supposée plus accessible. C'est cette pratique que l'on peut voir illustrée sur la figure 2 où les molécules sont représentées avec une ombre afin de leur donner un aspect tridimensionnel tangible. Conséquence involontaire d'une telle stratégie : les étudiants risquent d'adopter une approche littérale, non pertinente pour interpréter un tel schéma. Winn & Holliday (1981) ont souligné le rôle important que remplissent les schémas pour révéler aux étudiants les relations fondamentales scientifiques en les représentant sous forme visiospatiale, alors même que bon nombre de ces relations scientifiques ne sont, en réalité, pas du tout d'ordre visiospatial (ainsi en est-il de la représentation de changements au cours du temps par le biais d'une équivalence du type "distance = temps"). C'est pourquoi une lecture littérale, dans laquelle la disposition spatiale des symboles et leurs liens seraient considérés comme décrivant directement la réalité, serait totalement fautive. Les étudiants doivent apprendre à aller au-delà des aspects perceptifs superficiels d'ordre visiospatial d'un schéma pour prendre en compte le système de symboles et de conventions qui constitue le cadre sous-jacent. Pour produire de tels schémas pour l'enseignement, il faut donc faire en sorte d'éviter une lecture littérale, et pour cela ne pas mélanger des aspects réalistes et des aspects abstraits d'une façon qui risquerait d'induire les étudiants en erreur. Quant à l'enseignant, il est important qu'il ne suppose pas *a priori* que les conventions utilisées dans un schéma sont forcément connues et comprises par les étudiants, en particulier lorsque les symboles et la façon dont ils sont disposés comportent des incohérences du type évoqué ci-dessus.

5.3. Connaissance du contenu

un bagage de
connaissances
pour explorer les
schémas

Le troisième traitement des schémas, que Winn considère comme crucial, concerne l'application de la connaissance du contenu. Celui qui possède déjà des connaissances appréciables quant au contenu concerné peut les utiliser pour guider sa recherche d'informations pertinentes pour la construction ou la compréhension d'un schéma. Ces connaissances peuvent l'aider pour décider de ce qu'il va chercher et, dans certains cas, indiquer les emplacements probables de cette information (Lowe, 1989). Ainsi, pour les enseignants, qui ont une compétence dans le domaine concerné, la question de savoir comment explorer de façon productive un schéma relevant de ce domaine ne se pose pas vraiment. Les étudiants novices dans le domaine étudié manquent par contre de ce bagage cognitif qui leur permettrait d'exercer, de façon à la fois efficace et productive, un contrôle stratégique extérieur de leur attention ; ce manque est d'autant plus sensible que les schémas sont plus abstraits et avarés d'informations-clés. En l'absence de toute indication supplémentaire explicite quant à l'accentuation graphique des différents éléments du schéma et à leur dis-

un paradoxe peu
pris en compte

position spatiale, ce qui est parfaitement clair pour l'enseignant peut être tout à fait opaque pour les étudiants.

Le paradoxe de l'enseignement est que les apprenants, par nature, peuvent manquer du bagage cognitif nécessaire au traitement productif d'un schéma et qu'on attend néanmoins d'eux qu'ils soient capables d'utiliser ces schémas spécialisés pour construire les connaissances dont ils manquent. Du fait que leurs structures de connaissances dans le domaine d'étude considéré sont peu développées, les étudiants ont du mal à déterminer quelles zones du schéma devraient s'avérer les plus productives à explorer pour obtenir des informations, quelle séquentialité ils devraient adopter pour traiter le schéma, ce qu'il serait important de remarquer dans le schéma et quelle importance accorder à ce qu'ils remarquent (Lowe, 1993a). Malheureusement, un schéma étant souvent considéré comme explicatif en soi plutôt que comme devant être expliqué ; ce qui pourrait aider les étudiants à traiter le schéma correctement n'est pas fourni. En fait, les étudiants ont besoin d'être guidés pour repérer sur le schéma ce qui a des chances d'être important.

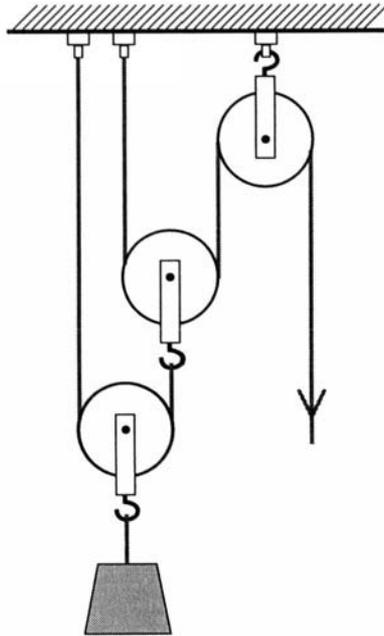


Figure 3. Un système de poulies pour soulever une masse importante plus facilement

Par exemple, dans la figure 3, les deux poulies mobiles à gauche du schéma ont un statut beaucoup plus important que la poulie fixe à l'extrême droite qui ne sert qu'à changer la direction dans laquelle s'applique l'effort. Cette séparation du schéma en deux parties principales requiert des connaissances dignes d'un spécialiste que des étudiants débutant en physique n'ont guère de chances de posséder. Le fait que la force appliquée du côté droit de la poulie du milieu, *via* la poulie fixe de droite, doit être contrebalancée par une force correspondante du côté gauche de cette poulie exige également des connaissances spécialisées. Pour comprendre ce qui se passe dans cette partie du schéma, les étudiants doivent remarquer que ces deux poulies sont soutenues de façon différente et appliquer les connaissances de physique correspondantes. Ces étapes de traitement sont sans doute nécessaires avant d'essayer de s'intéresser à la poulie placée le plus à gauche, qui supporte la masse. La figure 3 ne contient pas d'indications aisément repérables sur le type d'informations auquel il faudrait prêter attention, ni sur l'ordre de traitement ; de ce fait, ce schéma est loin d'être explicatif par lui seul. Il faudrait le munir d'indications visuelles révélant, de façon explicite, ses aspects importants ainsi que d'indices orientant l'exploration productive de son contenu par l'étudiant. Il peut être nécessaire de fournir plusieurs versions de ce schéma, chacune d'elles mettant l'accent sur des aspects différents qui doivent être pris en considération. L'enseignant qui utilise un schéma tel que celui de la figure 3, qui ne fournit aucune aide à l'interprétation, devra particulièrement veiller à fournir les connaissances nécessaires à l'analyse pertinente du schéma et guider le traitement dans des directions productives.

des indices
pour orienter
l'exploration

5.4. Stratégies de recherches

Le quatrième traitement décrit par Winn implique l'utilisation de stratégies de recherche appropriées à l'exploration d'un schéma. Le découpage classique en séquences d'un texte écrit, qui caractérise les langues européennes, semble être généralisé au matériel ne comportant pas de texte ("non-texte"). Des habitudes, fermement enracinées, de lecture de gauche à droite et de haut en bas, semblent engendrer une série de comportements spontanés pour extraire de l'information d'un schéma. Si cette stratégie, empruntée à la lecture, peut être pertinente lorsque le schéma a été conçu avec une structure compatible avec les conventions de "séquençage" de texte, il n'en va pas de même, loin de là, dans les autres cas. Très souvent le contenu d'un schéma et les contraintes pratiques auxquelles est soumise la disposition de l'information sur une page ne permettent pas de réinvestir cette compétence acquise de lecture. Dans d'autres cas, c'est pour de pures raisons esthétiques que les concepteurs semblent sacrifier le bénéfice qui résulterait du fait de s'en tenir à une disposition classique.

de la lecture de
texte à la lecture
de schéma

Ces schémas, dont les structures ne relèvent pas d'un traitement utilisant une stratégie simple - de gauche à droite et de haut en bas - posent des difficultés plus grandes aux étudiants. Dans de nombreux cas, l'effet global du déploiement visuel peut être paralysant, en particulier lorsque aucun indice explicite ne permet d'attaquer les constituants du schéma. L'étudiant qui dispose de stratégies, du type "diviser pour régner", peut découper le schéma en secteurs ; toutefois, pour que cette stratégie soit efficace, le schéma ne doit pas être déjà subdivisé de façon purement arbitraire et incompatible avec un découpage permettant un traitement scientifique. Lorsque les concepteurs mettent au point des schémas scientifiques pour l'enseignement, ils ne devraient pas se borner à vérifier la validité du contenu mais ils devraient également se pencher attentivement sur les processus de traitement à mettre en œuvre. Si le type de traitement auquel doit se livrer l'étudiant risque d'être difficile ou inhabituel, il peut être nécessaire de modifier la structure du schéma, ou d'apporter une aide auxiliaire guidant explicitement une stratégie de recherche productive. Lorsque l'enseignant a besoin d'utiliser un schéma préexistant, qui pose aux étudiants des difficultés particulières d'analyse, c'est à lui de leur montrer comment s'attaquer de façon productive au schéma.

6. CONCEPTION DE SCHÉMAS MULTIMÉDIAS

Dans cette partie, nous ferons, en rapport avec la discussion précédente, des suggestions de précautions à prendre lors de la conception de schémas pour un environnement multimédia. Les trois exemples de schémas statiques et passifs auxquels nous avons fait référence précédemment seront utilisés pour illustrer trois façons d'introduire l'animation et l'interactivité conformément aux principes décrits ci-dessus. Ces traitements sont des propositions qui ont uniquement pour objectif de montrer l'applicabilité - au plan général - de ces idées ; ils ne prétendent pas fournir des méthodes de conception de schémas multimédias efficaces. Il est évident qu'un traitement en détail des points à considérer pour ce faire exigerait une étude plus vaste prenant en compte les résultats de recherche disponibles concernant les préconceptions des étudiants, une étude de l'interaction des étudiants avec des versions statiques des schémas et une exploration de la façon dont les étudiants abordent les versions interactives animées (et non pas statiques) de chaque schéma. En présentant ces exemples, nous avons l'intention, à la fois, de nous faire les défenseurs d'une approche plus réfléchie de la conception de schémas multimédia et de mettre l'accent sur l'importance fondamentale du traitement "humain" de l'information dans cette réflexion.

ne pas négliger
l'importance du
traitement
"humain" de
l'information

l'animation...

L'utilisation pertinente de l'animation d'un schéma statique peut aider les étudiants à discriminer et configurer correctement les symboles dans des cas où l'information directement perceptive sur le schéma risque d'engendrer une base inappropriée pour un traitement ultérieur. Par exemple, à la figure 3, il n'est pas fait de distinction visuelle nette entre les trois poulies et pourtant, les deux poulies de gauche jouent un rôle très différent de celui de la poulie de droite dans le fonctionnement du dispositif. En présentant simultanément ces trois poulies visuellement similaires, on ne donne à l'étudiant aucun indice lui indiquant la nécessité de les traiter différemment. L'animation pourrait être utilisée ici pour indiquer cette différence, en modifiant au cours du temps les éléments affichés à l'écran. Par exemple, la configuration qui consiste à isoler les deux poulies de gauche pourrait être indiquée en les faisant apparaître ensemble avant d'ajouter la poulie de droite, celle-ci serait considérée ensuite comme distincte du premier groupe parce que présentée ultérieurement. Une autre possibilité pour aider à la configuration consisterait à présenter simultanément les trois poulies, mais avec des couleurs différentes, une couleur pour le groupe de gauche et une autre couleur pour la poulie de droite. Les deux groupes de poulies pourraient également être différenciés de façon fonctionnelle, en fournissant aux étudiants des possibilités d'interagir avec elles d'une façon structurée. Par exemple, les deux poulies situées à gauche pourraient pour commencer être affichées seules à l'écran et les étudiants invités à essayer différentes forces d'application pour soulever la masse. Ces essais seraient ensuite comparés à ce qui se passe lorsqu'on ajoute la troisième poulie au dispositif pour montrer que sa fonction consiste simplement à changer la direction dans laquelle on peut faire agir la force.

... aide à
la discrimination
et à la
configuration

Lorsque l'interprétation d'un schéma repose sur la connaissance de symboles et de conventions, on peut utiliser l'animation, soit pour les remplacer par une représentation plus directe, soit pour expliquer comment ils doivent être lus. Par exemple, sur la figure 2, où l'on veut montrer les trois étapes principales d'une réaction (la dernière étape comportant deux issues possibles), le processus est tranché et des groupes de molécules disposés sur la page dans des positions relatives arbitraires, si l'on veut utiliser la convention distance = temps. Sur le schéma, le changement délibéré du statut de l'espace, qui est en fait utilisé pour décrire le comportement des molécules au cours du temps, exige de la part de l'étudiant des capacités d'interprétation supplémentaires. Le traitement approprié du schéma tel qu'il est donné figure 2, oblige selon toute probabilité l'étudiant à exécuter, mentalement, des transformations pour générer des modèles internes dynamiques de scénarios rendant compte d'une collision efficace ou non efficace. Ces transformations ne sont possibles que si l'étudiant peut décoder les systèmes de symboles et des conventions utilisés dans le schéma sta-

... aide au
décodage des
conventions

des potentialités
variées de
l'animation

tique pour représenter d'une part le temps, d'autre part les deux scénarios possibles. L'animation de ce schéma supprimerait la nécessité de cette compétence, qui n'a rien à voir avec le contenu lui-même mais seulement avec les limites de la forme de présentation. Chacun des deux scénarios (collision efficace, collision non efficace) pourrait donner lieu à une animation distincte. Une présentation en parallèle permettrait aux étudiants de comparer directement les vitesses des molécules dans les deux scénarios et d'établir une relation de cause à effet. Une animation de ce schéma pourrait aussi permettre aux étudiants une interaction quasi-physique avec le schéma : déplacer par exemple, avec la souris, les molécules lentement ou rapidement pour mettre à l'épreuve l'effet de différentes vitesses de collision. Un autre type d'animation pourrait permettre de travailler sur la représentation statique : sans changer fondamentalement le schéma, on pourrait modifier sa présentation et le traitement graphique des éléments afin de clarifier la façon dont sont utilisés symboles et conventions. Par exemple, les deux scénarios pourraient être présentés indépendamment l'un de l'autre plutôt qu'ensemble. La collision non efficace pourrait alors être présentée la première, ses trois étapes étant montées en séquences disposées sur l'écran de gauche à droite. Cette présentation pourrait s'accompagner d'un commentaire parlé, à disposition de l'utilisateur, décrivant la convention utilisée, de telle sorte que les étudiants puissent se concentrer sur un matériel visuel porteur de signification. Le texte écrit sur le schéma devrait, dans un premier temps, être réduit au maximum afin de ne pas monopoliser l'attention des étudiants, leur permettant ainsi de la consacrer au matériel graphique présenté. Puis le scénario de collision non efficace pourrait s'effacer progressivement de l'écran et céder la place à celui de la collision efficace. Cela pourrait conduire à la combinaison des deux scénarios présentés sur le schéma statique unique de la figure 2.

Le multimédia s'avère fort utile pour essayer de résoudre le problème crucial du manque de connaissances de base des étudiants dans le domaine de référence des schémas. Une des principales raisons des difficultés d'interprétation des schémas par les étudiants est que ces schémas sont arrachés de leur contexte, par exemple, le sismographe illustré à la figure 1 n'est accompagné que d'informations symboliques quant à son environnement, si bien que c'est à l'étudiant d'inférer que la base du dispositif est fixée sur une structure rocheuse faisant probablement partie d'une zone géologique instable. En plus d'une limitation draconienne de l'environnement spatial, le schéma ne présente qu'un "instantané" du fonctionnement du sismographe - un instant particulier dans le temps. Il n'y a aucune référence explicite aux événements formant un contexte temporel plus vaste, si bien que ceux-ci doivent également être induits par interprétation de la trace sur le cylindre enregistreur. Pour être capable de se livrer à de telles inférences quant à l'origine

relier à un
environnement
spatio-temporel

des variations de la trace sur le tambour, l'observateur doit déjà disposer d'un modèle mental relativement correct de certains aspects du système décrits par le schéma. Ce ne sera probablement pas le cas des étudiants auxquels on distribue un tel schéma dans le cadre d'une initiation aux phénomènes géologiques fondamentaux. Il serait relativement simple de faire appel à l'informatique pour présenter le contexte spatial et temporel du sismographe de façon claire, de telle sorte que les étudiants ne soient pas obligés de se livrer à des inférences lointaines. L'initiation au sismographe pourrait utiliser une animation le situant dans une région géologiquement active avant de "zoomer" sur l'instrument lui-même et de montrer comment la formation rocheuse à laquelle il est fixé est soumise à des chocs qui se propagent dans la région. En animant le cylindre, de façon à ce que l'étudiant puisse le voir en rotation et en utilisant la souris pour sélectionner la force des ondes de choc reçues par le sismographe, on pourrait faire établir une relation entre la taille des pics sur le graphe et l'ampleur de la perturbation géologique. Cette interaction aiderait l'étudiant à concentrer ensuite son attention sur les aspects clés du fonctionnement même du sismographe nécessaires à la compréhension des liens entre secousse et trace sur le graphe.

Par opposition à la majorité des images réalistes de la vie quotidienne que les étudiants rencontrent à l'extérieur de leur classe de science, l'interprétation des schémas scientifiques exige une approche précise, analytique et extrêmement systématique. Les modes de lecture spontanés et les façons de "traiter" d'autres sortes d'images sont souvent insuffisants pour traiter efficacement un schéma. C'est pourquoi il est important d'aider les étudiants à mettre au point un répertoire de capacités généralisables qui leur permettra de se lancer de façon efficace et assurée dans le processus souvent exigeant de l'interprétation des schémas. Le multimédia pourrait aider les étudiants à développer de telles capacités en montrant des façons efficaces d'extraire l'information contenue dans un schéma. Plutôt que de leur présenter simplement un schéma, comme s'il se passait d'explication, il faudrait impliquer les étudiants dans des activités d'entraînement à une recherche structurée de son contenu. Reprenons, par exemple, la figure 2. Elle comporte une structure à grande échelle, lisible de gauche à droite faisant apparaître trois étapes principales (avant, pendant et après la collision). On pourrait au cours du commentaire oral attirer l'attention des étudiants sur cette structure du schéma statique en "éclairant" successivement chaque étape ou en "encerclant" chacune de ces étapes. Une fois cette structure à grande échelle identifiée, un traitement plus détaillé de la troisième étape en utilisant des techniques d'animation similaires pourrait permettre de distinguer une collision efficace et une collision non efficace. On pourrait ensuite faire appel à l'interactivité pour aider les étudiants à

entraîner au
décodage des
schémas

se rendre compte qu'il y avait deux façons de parcourir les trois étapes du schéma, l'une qui débouche sur des produits et l'autre dans laquelle on retrouve les molécules d'origine. La souris pourrait être utilisée pour cliquer sur les étapes correspondant à un des scénarios puis à répéter l'opération pour l'autre scénario. Les molécules concernées pourraient être "éclairées" lorsque l'étudiant cliquerait dessus pour rendre visible la chaîne des événements de chaque scénario. On pourrait également présenter le schéma sans le troisième état et demander de "construire" ce troisième état, à partir des "objets" disponibles dans l'état 2, dans le cas d'une collision efficace. Pour cela il suffirait de cliquer sur l'un des atomes d'iode puis de déplacer une copie d'atome d'iode pour former la molécule de diode. Cette molécule serait placée là où elle apparaît dans le schéma complet. L'étudiant effectuerait ensuite une opération similaire pour générer la molécule de dihydrogène.

CONCLUSION

Le recours aux multimédias pour l'enseignement des sciences étant de plus en plus répandu, il est important que le matériel produit soit conçu avec soin pour que animations et interactions répondent aux attentes. En ce qui concerne l'augmentation de l'efficacité pédagogique des schémas, les puissantes capacités de traitement de l'information qui caractérisent l'informatique ne produiront pas par elles-mêmes une amélioration de l'apprentissage. Ce sont des aspects plus fondamentaux qui sont en jeu, impliquant la façon dont les personnes traitent les informations contenues dans les schémas. Si les étudiants ont des problèmes avec des schémas qui sont normalement censés les aider à apprendre la science, cela veut dire qu'il faut fournir aux étudiants des moyens pour les aider à utiliser ces schémas de façon plus efficace. Les propositions illustrées ici ont pour objectif de faciliter le processus de construction de modèles mentaux appropriés à partir de schémas. Elles reposent sur des principes généralisables largement applicables, tant au niveau du thème traité, que des types de schémas utilisés et des méthodes d'enseignement. Du fait que l'élève est au centre de ces préoccupations, les exigences d'un enseignement multimédia à partir de schémas efficaces sont donc les mêmes que celles qui s'appliquent dans une salle de classe "traditionnelle".

ne pas décevoir
les espoirs

Dans cet article, nous avons limité nos considérations de traitement multimédia hypothétique des schémas à quelques exemples. Ils ont été utiles pour envisager certaines possibilités mais ils ne sont pas "la" réponse définitive quant à la façon la plus efficace de traiter un contenu donné dans un environnement d'apprentissage multimédia. Les sources évoquées de difficultés d'étudiants confrontés

dans l'attente
d'études
empiriques

aux versions statiques des schémas originaux relèvent avant tout de la spéculation. Seules des études empiriques détaillées, s'intéressant à ce que la population cible des étudiants fait réellement avec ces schémas, pourrait fournir une base fiable pour estimer les sources réelles de difficultés. Si les spéculations s'avéraient correspondre à la réalité, l'application des principes discutés dans cet article ne pourrait fournir que des lignes directrices expérimentales quant au type d'animation interactive le mieux adapté pour chaque schéma. Une fois de plus, il faudrait faire appel à un travail empirique pour aller plus loin. Néanmoins, l'adoption d'une approche fondée sur une théorie, telle qu'elle a été proposée ici, serait une première étape permettant de s'éloigner des solutions superficielles et purement intuitives qui dominent actuellement la production de nombreux outils multimédia.

Richard K. LOWE
Faculty of Education,
Curtin University,
Western Australia

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHANDLER, P., & SWELLER, J. (1992). "The split-attention effect as a factor in the design of instruction". *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233-246.
- HEGARTY, M. (1992). "Mental animation : inferring motion from static displays of mechanical systems". *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 18, 1084-1102.
- JOHNSON-LAIRD, P.J. (1983). *Mental models*. Cambridge : Cambridge University Press.
- LARKIN, J.H., & SIMON, H.A. (1987). "Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words". *Cognitive Science*, 11, 65-100.
- LEVIN, J.R., ANGLIN, G.J., & CARNEY, R.N. (1987). "On empirically validating functions of pictures in prose". In D.M. Willows and H.A. Houghton (Eds.), *The psychology of illustration* (Vol.1, pp 51-85). New York : Springer-Verlag.
- LOWE, R.K. (1989). "Search strategies and inference in the exploration of scientific diagrams". *Educational Psychology*, 9, 27-44.
- LOWE, R.K. (1993a). "Constructing a mental representation from an abstract technical diagram". *Learning and Instruction*, 3(3), 157-179.
- LOWE, R.K. (1993b). *Successful instructional diagrams*. London : Kogan Page.

- LOWE, R.K. (1994a). "Diagram prediction and higher order structures in mental representation". *Research in Science Education*, 24, 208-216.
- LOWE, R.K. (1994b). "Selectivity in diagrams : Reading beyond the lines". *Educational Psychology*, 14, 467-491.
- MAYER, R.E. (1989). "Models for understanding". *Review of Educational Research*, 59(1), 43-64.
- MAYER, R.E., & ANDERSON, R.B. (1992). "The instructive animation : Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning". *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- MAYER, R.E., & GALLINI, J.K. (1990). "When is an illustration worth ten thousand words ?" *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- MAYER, R.E., & SIMS, V. (1994). "For whom is a picture worth a thousand words ? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning". *Journal of Educational Psychology*, 86, 389-401.
- SCHNOTZ, W., & KULHAVY, R. (1994). *Comprehension of graphics*. Oxford : Pergamon Press.
- WINN, W.D. (1991). "Learning from maps and diagrams". *Educational Psychology Review*, 3, 211-247.
- WINN, W.D. (1993). "An account of how readers search for information in diagrams". *Contemporary Educational Psychology*, 18, 162-185.
- WINN, W.D., & HOLLIDAY, W.G. (1981). *Learning from diagrams : theoretical and instructional considerations*. Paper presented at the annual convention of the Association for Educational Communication and Technology, Philadelphia, April.

IMAGES BIOLOGIQUES ET ACTIVITÉ DE DIAGNOSTIC D'ÉLEVAGE

Alain Gay
Jean Gréa
Philippe Sabatier

La théorisation des aspects objectifs de la forme est un enjeu central de tout apprentissage de la biologie. Cependant, une forme biologique ne correspond pas à une clôture, ni à un renfermement sur soi, mais plutôt à un mouvement au sein duquel deux termes (l'être et son milieu) sont en permanence distingués et reliés. Dans ce fait, un recours pédagogique à des images numériques suppose la satisfaction de plusieurs conditions relatives à la situation didactique : (a) une articulation entre l'image et le texte qui l'accompagne, en vue d'aider à l'interprétation des signes observés ; (b) un soutien au recueil des signes, dans le cadre d'une activité de résolution de problèmes ; (c) un usage de l'outil informatique "face au cas", favorisant une activité dialogique. Les résultats présentés dans cet article sont tirés d'une étude réalisée dans le domaine de la pathologie animale. Un hypermédia, consulté à l'issue d'une visite d'élevage réelle, permet à l'apprenant de préciser les descripteurs pertinents du trouble pathologique (observation → description), puis de mettre en relation la forme pathologique identifiée avec les explications sous-jacentes (description → interprétation, et interprétation → action).

le diagnostic d'élevage est une activité qui met en jeu des images sur le fond (concepts biologiques) et sur la forme (communication)

Le diagnostic médical peut être compris comme un acte langagier par lequel un praticien conclut son investigation (Garnier et Delamare 1985). Une **forme biologique** particulière, autrement dit une maladie, est ainsi attribuée à des organismes vivants, à partir des symptômes et indices que ceux-ci présentent. Dans le cadre des maladies d'élevage que nous étudions, la difficulté n'est pas tant liée à l'identification de la maladie, qu'à la compréhension des mécanismes qui en sont à l'origine. Ces mécanismes, complexes, font intervenir un nombre important de paramètres biologiques et environnementaux (variation de température, pression microbienne, etc.). Les variations et les interactions de ces paramètres dépassent parfois les capacités d'adaptation des animaux, ce qui conduit à des états pathologiques (Sabatier *et al.* 1994). Une telle approche par les circonstances (approche dite **écopathologique**) abandonne la recherche d'une causalité formelle au profit d'une explication multifactorielle, basée sur des observations systématisées. De fait, le diagnostic échappe au monopole des vétérinaires, pour devenir l'affaire de tous les professionnels impliqués dans l'élevage. Dès lors, une construction **collaborative** de diagnostics d'élevage est nécessaire, qui implique que les acteurs concernés aient acquis d'une part

une certaine compréhension des phénomènes biologiques mis en jeu, et d'autre part une capacité à échanger leurs points de vue sur des concepts tant pratiques que théoriques. L'image biologique intervient à ces deux niveaux, en tant qu'accès privilégié à des savoirs spécifiques, et comme médium d'un dialogue sur ces savoirs.

Pour tirer parti des possibilités offertes par l'image, nous avons conçu un outil hypermédia destiné à l'apprentissage de la santé animale, à travers la construction collaborative, sur le terrain, de diagnostics d'élevage. Cet outil s'inscrit dans une tendance récente, qui veut que les applications proposées « visent l'adaptation à des contenus et à des contextes réels d'utilisation », et soient par conséquent aptes à « appliquer et développer l'expérience européenne de recherche en didactique » (Dufresne 1993, p. 245). Parmi les outils offerts par la technologie actuelle, les logiciels hypermédiés offrent la possibilité de tisser toutes sortes de liens entre des concepts d'origines diverses, et permettent une manipulation puissante et aisée d'images. Ils apparaissent de ce fait comme des outils de communication particulièrement propices à la mise en œuvre d'une problématique de collaboration et de formation, sous la forme d'une aide à la résolution collective de problèmes.

un hypermédia
pour
l'apprentissage
de la santé
animale

Ainsi, le travail que nous présentons ici est tiré d'une recherche en didactique des disciplines scientifiques, dont la particularité est d'être centrée sur des activités professionnelles (Gay 1995). Si ces activités ne posent habituellement aucun problème particulier aux professionnels concernés, certaines situations résistent aux pratiques quotidiennes. Une remise en cause de ces pratiques est alors nécessaire, qui passe par un inévitable détour théorique. C'est alors que ces situations deviennent potentiellement riches en possibilités d'apprentissage. L'enjeu n'est plus alors d'accroître son expérience, mais d'accéder à un niveau supérieur de compréhension des phénomènes considérés.

une étude
didactique
centrée sur
des activités
professionnelles

Notre propos est construit selon le principe des poupées russes. Au cœur de notre étude figurent les **savoirs biologiques**. Cette première approche, à caractère épistémologique, nous permettra d'en exposer quelques caractéristiques, essentielles du point de vue de notre sujet de recherche (paragraphe 1). Puis nous étudierons les spécificités d'une **activité de résolution coopérative de problème** mettant en jeu de tels savoirs : le diagnostic d'élevage (paragraphe 2). À un troisième niveau, nous verrons comment des **apprentissages** peuvent s'opérer au cours de cette activité (paragraphe 3). Enfin, nous montrerons comment un **hypermédia**, conçu sur la base de ces réflexions, peut influencer sur l'activité des utilisateurs, afin de favoriser ces apprentissages (paragraphe 4). À chacun de ces niveaux, nous porterons une attention particulière au **rôle spécifique de l'image**.

1. IMAGES ET SAVOIRS BIOLOGIQUES

1.1. Formes biologiques : du vivant au vécu

Il n'est pas possible de réduire la définition d'un être biologique à l'analyse de la frontière topologique qui le distingue de son milieu. Une telle frontière est franchie en permanence par des échanges de matière et d'énergie (fig. 1-a). Pour Bertalanffy, l'être biologique peut être vu comme *« un ordre hiérarchisé de systèmes ouverts dont la permanence est assurée par le truchement du mouvement d'échange des composants réalisés en vertu des conditions du système »* (Bertalanffy 1961, p. 173). Il devient alors un ensemble de parties soumis à un déterminisme susceptible de rejeter dans l'environnement les ajouts (fig. 1-b), et de régénérer les parties manquantes (fig. 1-c).

la frontière topologique ne suffit pas à décrire l'identité d'un objet biologique

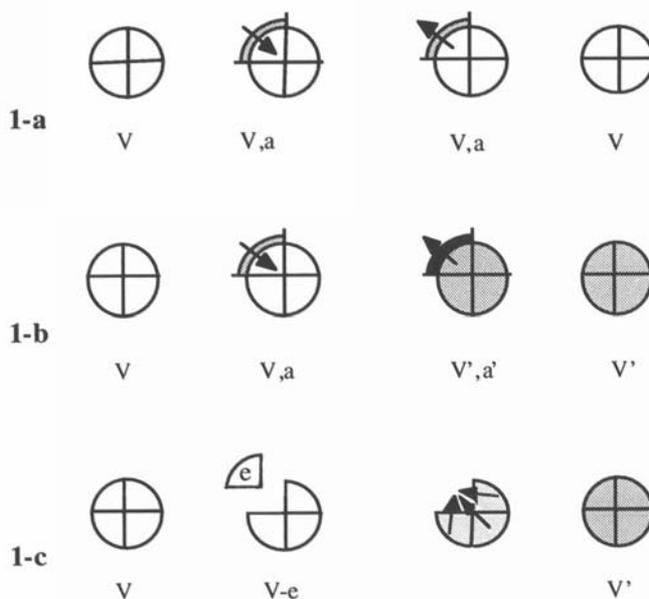


Figure 1.

- 1-a.** Échange (a) entre un objet biologique (V) et son milieu
1-b. Ajout (a) et élimination (a') relatif à un objet biologique, passant d'un état initial (V) à un état final (V')
1-c. Lésion (e) et régénération d'un objet biologique

un être vivant tient compte de son milieu pour mieux s'en distinguer

Mais si l'être vivant était à chaque instant son propre déterminisme, il serait immuable, et insensible à son environnement, échappant alors aux processus de développement, de reproduction ou de maladie. Un individu tient compte du milieu extérieur pour établir sa cohérence interne, mais il en

tient compte précisément pour s'en distinguer. La relation / séparation entre l'individu et son milieu s'appuie à la fois sur une action interne (s'adapter) et sur une action externe (adapter son milieu). La constitution d'un milieu extérieur, et corrélativement de l'être biologique lui-même, relève d'un "comportement cognitif" par lequel « l'être vivant "connaît" son milieu extérieur (et se "connaît" face à celui-ci), "connaît" donc par là-même la réalité physique » (Pichot 1991).

la reconnaissance des formes biologiques n'est possible qu'à travers un vécu

Cette connaissance biologique est au cœur de l'expérience de la maladie. La maladie prend, selon les individus, des formes variées, et se détermine moins par rapport à des normes que, selon la formule de Canguilhem, « par référence de l'individu à lui-même dans des situations identiques, successives ou variées » (Canguilhem 1966). En ce sens, il est impossible, pour objectiver la maladie, d'annuler la part (non mesurable ou non communicable) de l'expérience vécue par le malade. La maladie apparaît, dans ce contexte, comme un trouble du fonctionnement de l'organisme affectant son existence globale vis-à-vis du monde environnant. L'individu malade voit se réduire sa capacité à affronter le risque, l'aléa et, de ce fait, son environnement se rétrécit.

1.2. Images et discoursivité en biologie

seule une théorie préexistante permet une observation méthodique

L'homme développe une connaissance biologique dans le mouvement même par lequel il se constitue en tant que sujet et transforme son environnement. Il substitue alors à son environnement structuré par des lois physico-chimiques, un milieu extérieur structuré par des lois de comportement et par une connaissance commune plus ou moins discursive. Seule une théorie préexistante organisant la phénoménologie observée permet de structurer un comportement méthodique. Au-delà de la reproductibilité d'un phénomène, c'est le recours à une théorie qui permet de qualifier la cohérence d'un instrument exploratoire. La théorie peut être explicite et mathématisée, mais elle peut aussi être implicite et langagière. En effet comme le rappelle Thom :

« Une théorie fondée sur le langage, avec la taxinomie des phénomènes qu'elle comporte implicitement, offre déjà une base assez large à l'expérimentation dans toutes les sciences où l'on ne s'élève guère au-dessus du phénomène. » (Thom 1990, p. 628).

Souvent proche de l'expérience sensible, le savoir biologique ne peut que difficilement s'éloigner d'une logique langagière qui emprunte au vocabulaire commun. Dans la démarche scientifique, cette discoursivité des connaissances tend à évoluer d'un langage naturel vers un langage symbolique, tout en conservant l'indépendance des signes à l'égard des signifiés. Ces symbolismes spécifiques permettent ainsi de réduire, comme dans le cas de la physique, toute réalité vécue à des schémas abstraits (fig. 2).

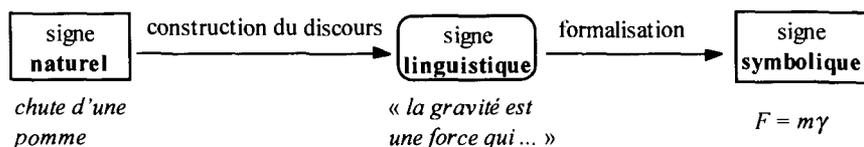


Figure 2. La discursivité en physique

les savoirs biologiques reposent sur un usage contrôlé de la langue naturelle

Or justement, la spécificité de la biologie est de ne pas nier le vécu dans sa recherche d'objectivation des phénomènes. Les différentes fonctions de la communication comme les aspects illocutoires de la parole sont à prendre en compte, soit dans un méta-langage, soit par un usage contrôlé de la langue naturelle (fig. 3).

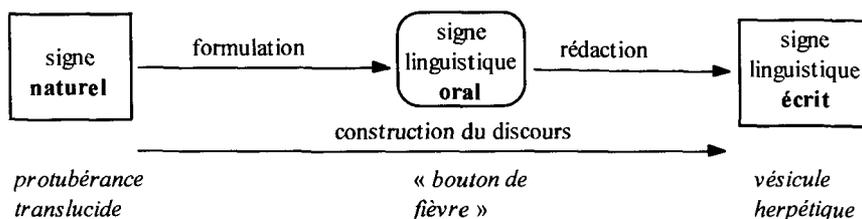


Figure 3. La discursivité en biologie

le code iconique est un code faible

La substitution, en biologie, d'une iconographie à la langue écrite peut apparaître au premier abord comme cohérent avec le progrès général de la discursivité dans l'expression scientifique. Mais, à la différence des codes symboliques (notamment ceux des langages graphiques scientifiques), le code iconique n'est que faiblement structuré (Eco 1972). En règle générale, un signe iconique peut perdre son sens s'il est isolé de son contexte : reconnaitrions-nous un lobe sans l'oreille qui le surmonte ? Seuls les énoncés iconiques, images porteuses d'informations contextuelles, fournissent un code donnant du sens aux éléments (les signes) qui les composent.

Cependant, si l'image ne peut faire office de langage symbolique, elle facilite, à travers des mécanismes d'appariement, l'identification des signes naturels, contribuant ainsi à la formulation orale, puis éventuellement écrite, des informations perceptives (fig. 4).

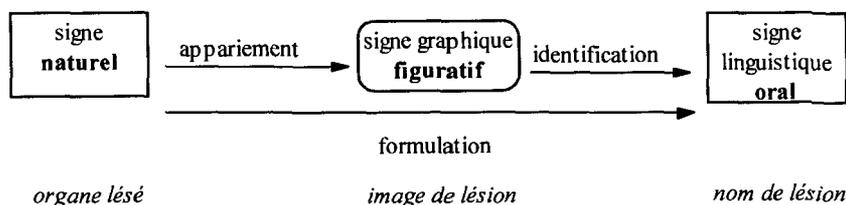


Figure 4. Le signe figuratif comme aide à la formulation

l'image permet
un accès
privilegié
aux savoirs
biologiques

Les savoirs biologiques ont pour objet l'étude des êtres vivants dont les formes, non mathématisables, sont appréhendées à travers la construction raisonnée d'un discours. En ce qu'il facilite cette construction, le signe iconique peut être considéré comme un moyen privilégié d'accès à ces savoirs.

Nous allons voir maintenant comment ces savoirs biologiques sont mis à contribution au sein d'une activité de résolution collective de problème : le diagnostic d'élevage.

2. IMAGES ET DIAGNOSTICS D'ÉLEVAGE

2.1. Catégorisation biologique et diagnostic

la mise en
évidence
des symptômes
dépend
de l'expérience
de l'observateur

L'observation des symptômes, à travers un examen pratique, ne peut se faire correctement sans la maîtrise de concepts théoriques sur les troubles pathologiques. La mise en évidence des phénomènes significatifs tient beaucoup à l'expérience de l'utilisateur, et dans une certaine mesure, les symptômes peuvent être considérés comme autant de réponses que l'organisme donne aux questions de l'observateur.

« Dans la pratique, nous procédons généralement de la façon suivante : à partir des faits acquis analytiquement, nous concevons une image de la totalité qui nous incite à nous poser d'autres questions et à poursuivre nos recherches, parce que nous trouvons toujours un désaccord entre cette image et les connaissances acquises par expérience. À partir de ces nouvelles connaissances, nous rectifions l'image de la totalité et ainsi de suite. Ainsi, par une progression dialectique, nos connaissances expérimentales nous permettent d'arriver à une appréciation toujours plus précise du caractère essentiel, à l'égard de l'organisme, des faits établis. » (Goldstein, 1934, p. 351).

Le diagnostic n'est pas une activité de déduction, simple identification de phénomènes particuliers à des catégories nosologiques. Si le point de départ d'un diagnostic est une certaine façon de voir les choses, de les décrire, le point d'arrivée n'est pas tant un approfondissement, une façon de les interpréter, qu'un déplacement global dans la façon de les voir, de les décrire, de les interpréter. Il faut qu'une "signification" à l'égard de ce qui se passe dans l'organisme soit établie : quels sont les phénomènes qui ont une importance biologique ? Et quels sont ceux qui n'en ont pas ? Mais cette mise en évidence n'est pas fortuite, elle dépend de la façon dont l'observation peut, pour ainsi dire, se déployer sous le contrôle du langage. La langue naturelle est au cœur de la démarche, et elle seule paraît pouvoir préserver le caractère signifiant des phénomènes biologiques. Le recours à un symbolisme figuratif, loin de constituer une fin en soi, doit au contraire être considéré comme une étape

l'observation
du vivant doit se
déployer sous
le contrôle
du langage

facilitant l'expression langagière des connaissances : le passage à une langue orale, puis à une langue écrite.

2.2. Pathologie animale et environnement

Les maladies des animaux d'élevage, comme les maladies humaines, ont pu un temps être étudiées à partir de l'observation d'un nombre réduit de symptômes mettant en cause des dysfonctionnements biologiques isolables. Le diagnostic étiologique des maladies infectieuses reposait dans ce cadre sur l'identification des agents qui permettaient d'expliquer et de réduire toutes les formes pathologiques. Mais l'action thérapeutique peut difficilement être réduite à l'anéantissement d'un agent intermédiaire véhiculant une action pathogène. Celle-ci, initialement surprise, peut en effet réapparaître en empruntant un autre canal, voire en anéantissant en retour l'agent perturbateur injecté par l'expérimentateur : cela se voit dans l'apparition de la résistance aux pesticides et aux antibiotiques. Il paraît ainsi difficile de dissocier l'étude des maladies des processus biologiques sous-jacents. L'identification relève désormais d'une prise en compte d'un ensemble de symptômes divers, qui varient selon les circonstances de leur manifestation.

L'écopathologie, étude des états pathologiques du système d'élevage dans ses relations avec le milieu, s'efforce de prendre en compte l'ensemble le plus vaste possible de facteurs explicatifs des états sanitaires constatés. Cette approche élargit la conception épidémiologique traditionnelle qui privilégiait la notion de maladie accompagnée de son "cortège de facteurs favorisants". • *Dans le contexte de l'élevage intensif, où tout est prévu pour obtenir les meilleurs résultats, une approche par les circonstances (de circum, autour, et de stare, se tenir) s'avère plus séduisante car elle offre la possibilité d'une action rapide par une modification d'un environnement relativement standardisé.* • (Gagnière et al. 1991). La méthode de diagnostic utilisée conduit à la mise en évidence de facteurs de risque de telle ou telle affection, le risque étant la probabilité que survienne, à un moment donné, un événement ; et le facteur de risque, toute variable statistiquement liée à l'évènement étudié. Les troubles de santé sont devenus des unités abstraites, opératoires, qui sont définies non par un ensemble de propriétés intrinsèques, mais par un réseau relationnel de symptômes et d'indices.

2.3. Construction collaborative de diagnostic d'élevage

L'approche écopathologique de la gestion sanitaire des troupeaux repose sur un relevé systématique de paramètres environnementaux, dont on cherchera à maintenir la valeur en deçà de certains seuils : la variation de température ne devra pas excéder tant de degrés, la ration alimentaire ne

l'identification des agents pathogènes ne suffit pas à l'étude des maladies

l'écopathologie étudie les traits pathologiques des systèmes d'élevage dans leur relation avec le milieu

les compétences des vétérinaires, des éleveurs et des techniciens sont nécessaires au diagnostic d'élevage

de nouvelles pratiques professionnelles nécessitent la réintroduction de savoirs théoriques

la coopération interprofessionnelle demande une méthodologie et un langage communs

devra pas comporter plus de tant de kilogrammes de concentrés la veille du vêlage, etc. Ainsi, les compétences des multiples intervenants sur l'élevage sont mises à contribution : celles du vétérinaire bien sûr, mais également celles de l'éleveur, maître d'œuvre des pratiques retenues, et celles des techniciens spécialisés (bâtiment, alimentation, taille des onglons, etc.). Les maladies d'élevage, nous l'avons vu, sont aisément identifiables. C'est leur éradication qui pose problème, car elle repose sur une capacité à comprendre les mécanismes biologiques sous-jacents et à traduire cette compréhension par la correction des pratiques d'élevage. Ce qui implique que les professionnels concernés puissent parvenir à articuler des savoirs pratiques, utilisés quotidiennement, à des connaissances théoriques, peu maîtrisées car trop souvent déconnectées de la réalité quotidienne.

La réintroduction de savoirs théoriques au sein de pratiques professionnelles vise à raisonner non plus en terme de procédures (e.g., calcul d'une ration journalière de farine), mais en terme de concept (e.g., niveau d'alimentation optimal). Ce changement de perspective permet de passer d'une **connaissance externe**, instrumentale et prisonnière d'un dispositif technique, à une **connaissance interne**, innovatrice, opérant à partir de l'activité de symbolisation (Zarifian 1990). Par exemple, la compréhension du fonctionnement des mécanismes de digestion-assimilation permet de réfléchir sur des modes de distribution des aliments qui soient adaptés aussi bien aux contraintes des bâtiments d'élevage qu'au bien-être et au rendement des animaux.

Nous avons vu au paragraphe 1 en quoi l'utilisation des images favorisait l'accès aux savoirs théoriques, en terme de "contenus". Dans une perspective de coopération, ce renforcement des capacités individuelles doit également être accompagné par un renforcement des "moyens" de communication. Habituellement, les professionnels évoqués ci-dessus ne se croisent que rarement dans les élevages et n'échangent alors que des propos d'ordre pratique. Pour construire en commun un diagnostic, il leur faut aller plus loin et s'engager, chacun à leur manière, dans un dialogue sur les concepts mis en jeu. Pour cela, deux conditions doivent être réunies :

- d'une part, il faut une méthodologie commune d'investigation, pertinente pour chacun des partenaires ; l'écopathologie, à travers l'identification et la maîtrise de facteurs de risque, offre ce cadre méthodologique ;
- d'autre part, il faut surmonter les difficultés liées à l'emploi d'un langage spécifique, dont les termes, parfois trop techniques, ou au contraire trop polysémiques, sont source d'incompréhensions, voire de malentendus ; l'utilisation raisonnée d'images peut alors significativement contribuer à l'élaboration d'un discours compréhensible par tous.

3. IMAGES ET APPRENTISSAGE

3.1. Situations de résolution de problèmes

l'activité de
l'apprenant est
au centre de tout
apprentissage

Pour aborder la question de l'acquisition de connaissances relatives au diagnostic d'élevage, nous sommes conduits à nous placer, à la suite de Piaget et Vygotsky, dans une perspective constructiviste des mécanismes de l'apprentissage, centrée sur l'activité de l'apprenant. Cette activité doit permettre à celui-ci de changer de conceptions, mais également de comportements face au monde des phénomènes (méthodologie). Dans ce cadre, les savoirs mis en jeu ne sont réellement acquis que s'ils sont maîtrisés de façon autonome, sur un plan pratique (perception, gestuelle), symbolique (schématisation des phénomènes) et théorique (estimation des grandeurs, choix des principes et des lois).

« C'est au travers de leur "mise en scène" dans des cas particuliers que concepts et principes ont une chance de devenir opérationnels, de ne plus être seulement des définitions ou des relations symboliques. C'est en ce sens que les activités de résolution de problèmes peuvent être un des moyens privilégiés de l'apprentissage conceptuel. »
(Dumas-Carré et al. 1989, p. 139).

une résolution
de problème
dont la solution
est à "inventer"

Le diagnostic des maladies d'élevage vise à résoudre un problème dont on ne peut pas donner de solution *a priori*. Les solutions sont à inventer, au sein d'une démarche spéculative qui rejette les procédures au profit des conjectures (Langlois et al. 1995). Chaque cas est différent, même si la méthodologie qui organise l'investigation est prédéterminée. Ceci rompt avec les situations de résolution de problème dans l'enseignement, caractérisées par l'existence de solutions déjà connues, et par le fait que les apprenants sont supposés redécouvrir les procédures qui y mènent. Ici, il n'est pas suffisant de comprendre l'énoncé, il doit être relié aux phénomènes eux-mêmes. L'hypothèse diagnostique doit être construite, ce qui nécessite l'obtention de données fournies par l'observation, la mobilisation de références théoriques et la confrontation de ces informations avec une expérience personnelle de la maladie.

le modèle
d'action pour
l'apprenant
est celui
du chercheur

L'apprentissage d'une méthodologie de diagnostic ne peut donc s'envisager que **face au cas**, dans des situations "réelles" (i.e., non artificielles). Ces situations présentent des caractéristiques intermédiaires entre les situations purement didactiques, et les situations a-didactiques définies par Brousseau. Des apprentissages y sont visés, mais indirectement, l'activité principale étant la prise de décision. De même, si l'on peut parler d'une forte dévolution (il n'y a pas d'enseignant), le milieu ne permet pas une validation formelle des solutions apportées au problème (complexité et inertie du système d'élevage). Le modèle d'action, pour l'apprenant, ne saurait être celui de l'expert, mais plutôt celui du chercheur. L'apprentissage du diagnostic nécessite que

l'apprenant engage une démarche méthodologique d'investigation, qui articule des savoirs pratiques (manipulation, observation) et des concepts théoriques (fonctionnement biologique des êtres). Cette intégration des savoirs est le fruit de l'activité de résolution de problème. Elle prépare l'apprenant à affronter des situations plus complexes ou/et plus inattendues.

3.2. Lecture d'une image et articulation au langage

la lecture
des images
demande
une expérience...

En soi, la lecture d'une image, comme celle d'une forme naturelle, est libre (1). Elle n'impose pas d'ordre, ni « *de marques d'énonciations qui manifestent les opérations de référence à exécuter* » (Jacquinot 1988, p. 605). Cependant pour que la lecture d'une image scientifique ne soit pas arbitraire, il existe un code de lecture essentiellement basé sur des conventions. « *Il y a une relation entre l'unité pertinente du système graphique et l'unité pertinente d'un système sémique qui dépend du codage préalable d'une expérience perceptive.* » (Eco 1972, p. 181). Comme le remarque si joliment Bruno Latour : « *ce n'est pas à l'œil nu que l'on voit [le] monde, mais à l'œil **habillé*** » (Latour 1985, p. 19).

mais elle reste
subjective...

Nous avons assisté à une démonstration d'autopsies se déroulant sous un chapiteau à rayures rouges et blanches. Que penser alors des propos d'un clinicien qui expliquait : « *on peut identifier cette lésion grâce à cette coloration bordeaux* ». Si l'observation avait été faite dans une étable sombre, ou au contraire dans une salle d'autopsie vitrée, orientée au nord, la caractérisation n'aurait-elle pas changé ? La difficulté s'accroît encore lorsque la couleur doit être estimée sur un support artificiel (photo, écran...), car on ne saurait à coup sûr déterminer les transformations qu'elle subit alors. Or, cette subjectivité s'applique aux autres caractéristiques de l'image : taille et forme des éléments, luminosité, contrastes, etc. On peut citer en exemple l'absorption d'unités figurales par le fond de l'image, ou encore les phénomènes de Lyer-Muller, à savoir la mauvaise vision des longueurs ou des parallélismes due à la présence de lignes auxiliaires (Wackenheim 1987).

et doit être
articulée aux
autres formes de
communication

Pour éviter les ambiguïtés, il importe que ce code soit systématiquement explicite : « *la mécanique elle-même de la perception [...] peut être considérée comme un fait de communication, comme un processus qui s'engendre seulement quand, par rapport à un apprentissage, on a conféré une signification à des stimuli déterminés et pas à d'autres* » (Eco 1972, p. 175). Comme l'écrit ou la parole, l'image est un "acte" de communication, vecteur d'une intention envers un locuteur (au sens d'Austin et Searle). Elle doit être articulée aux autres formes de communication pour pouvoir être détachée de son contexte. Le cas des connaissances anatomiques est à cet égard significatif. En anatomie, le

(1) À l'exception notable des mandalas tantriques, des codex aztèques, et dans une moindre mesure, des vitraux de nos cathédrales.

un outil
hypermédia pour
passer du signe
naturel au
langage, via
un symbolisme
figuratif

progrès de la discursivité passe d'abord par l'expression dans un langage graphique lié à la pratique chirurgicale (la planche). Mais l'enjeu est, dans un deuxième temps, la conceptualisation dans un langage naturel (le commentaire).

Du fait de la situation particulière de la biologie, nous avons vu que le recours à un symbolisme figuratif, loin de constituer une fin en soi, devait au contraire être considéré comme une étape facilitant l'expression langagière des connaissances : le passage à une langue orale, puis à une langue écrite. Nous allons maintenant analyser dans quelles conditions un environnement informatique hypermédia peut permettre une conceptualisation des connaissances en mobilisant des formes d'expression multiples, à la fois graphiques et symboliques. Partant d'une application relative aux problèmes locomoteurs de la vache, nous étudierons les fonctions idéographiques qui permettent d'atteindre une expression symbolique conforme aux exigences d'une démarche scientifique.

4. LES IMAGES DANS L'HYPERMÉDIA MAMBO-VL

MAMBO-VL :
Multimédia
d'Aide à la
Maîtrise des
Boiteries des
Vaches Laitières

MAMBO-VL est un logiciel hypermédia portant sur les problèmes de boiterie des vaches laitières (troisième pathologie en terme d'incidence économique, après les mammites et l'infécondité). C'est un outil d'aide au diagnostic, permettant la description de l'état pathologique d'un système biologique (le troupeau) dans un environnement donné (l'élevage). Cette approche collective par le troupeau n'est pas exclusive d'une approche individuelle par les animaux, mais inversement, elle ne peut pas s'y réduire. Le diagnostic d'un défaut dans le système d'élevage (ici les boiteries) permet une analyse des relations multifactorielles qui constituent la structure du troupeau. Cependant, ces relations ne mettent pas en cause uniquement des facteurs biologiques. Les déterminants physico-chimiques, mais aussi socio-économiques, sont essentiels. Ainsi, si l'usage du logiciel est pertinent dans des situations d'enseignement, il n'est pas limité à l'apprentissage d'une discipline biologique donnée. Il doit être envisagé dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire des systèmes biologiques.

Par les contenus techniques de sa base documentaire, cet outil est également un outil professionnel (Gay et Sabatier 1994) qui intègre notamment des savoirs liés aux métiers d'éleveur, de pédicure bovin ou de vétérinaire. Issue d'une confrontation de ces savoirs professionnels (2), une

(2) Le projet MAMBO, initié par l'Unité BioInformatique de l'École Vétérinaire de Lyon, est le fruit d'une collaboration au sein d'un réseau constitué d'organismes d'enseignement et de recherche, et de professionnels attachés à l'amélioration de la santé des troupeaux. Il associe le Centre d'Écopathologie Animale, des vétérinaires-prati-

un hypermédia
pour
l'enseignement
qui soit aussi un
outil professionnel

approche **écopathologique** des élevages est mise en œuvre. Des seuils, établis statistiquement, permettent par des mesures simples (hauteur d'une marche, kilos de pailles par vache et par jour, etc.) d'identifier la présence éventuelle de facteurs de risques, facteurs qui sont ensuite resitués dans un contexte général. Chaque catégorie de facteurs (longueur des onglons, hygiène, confort et alimentation) est également abordée en termes de conseils de prévention.

4.1. Modularité et principes de navigation

MAMBO-VL comprend quatre modules, pouvant être consultés indépendamment, ou simultanément.

- ***Le livre de l'éleveur***

des questions et
des conseils sur
les pratiques
de l'éleveur

Pour chaque catégorie de facteurs de risque, le livre de l'éleveur propose une introduction, une série de questions et une conclusion en forme de conseils. Des schémas viennent parfois expliciter les questions sur la présence éventuelle de facteurs de risques, auxquelles on répond par Vrai ou Faux. Ce parcours, très "guidé" au regard des autres livres, se termine par un récapitulatif, que l'on peut imprimer, et qui peut également enrichir une base de données statistiques. Le livre de l'éleveur joue un rôle central dans la consultation de *MAMBO-VL*. Grâce aux seuils de détection des facteurs de risque qu'il présente, il suscite de vives discussions entre les utilisateurs, que se soit sur un plan pratique ou sur un plan théorique.

- ***Le livre du vétérinaire***

Loin d'être une encyclopédie médicale, ce livre est une sorte de synthèse des connaissances les plus opérationnelles concernant les principales maladies du pied. Il a été conçu avec beaucoup de rigueur quant au vocabulaire et aux catégories de description utilisées (définition, importance, étiologie et lésions).

- ***Le livre des techniciens***

Ce livre n'a pas encore été réalisé, mais son contenu devra couvrir les différentes techniques concernées par la maîtrise des boiteries : le parage (taille des onglons), l'alimentation (calcul des rations) et les bâtiments (normes à respecter).

ciens et des pédicures bovins. Une partie importante de la base documentaire est directement tirée du *Manuel de prévention des boiteries* édité par le Centre d'Écopathologie Animale.

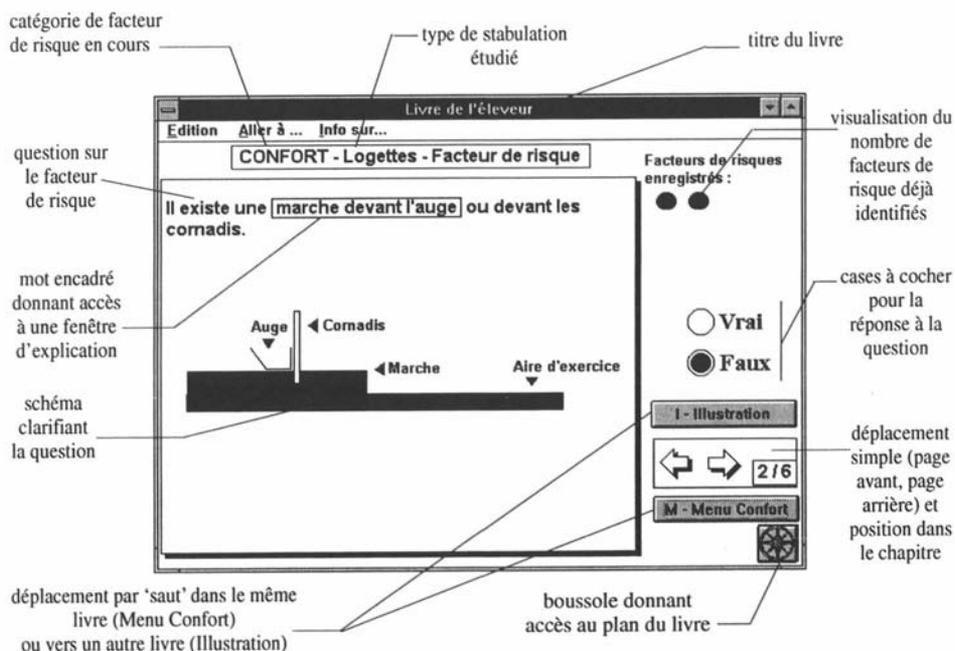


Figure 5. Une page-type du livre de l'éleveur

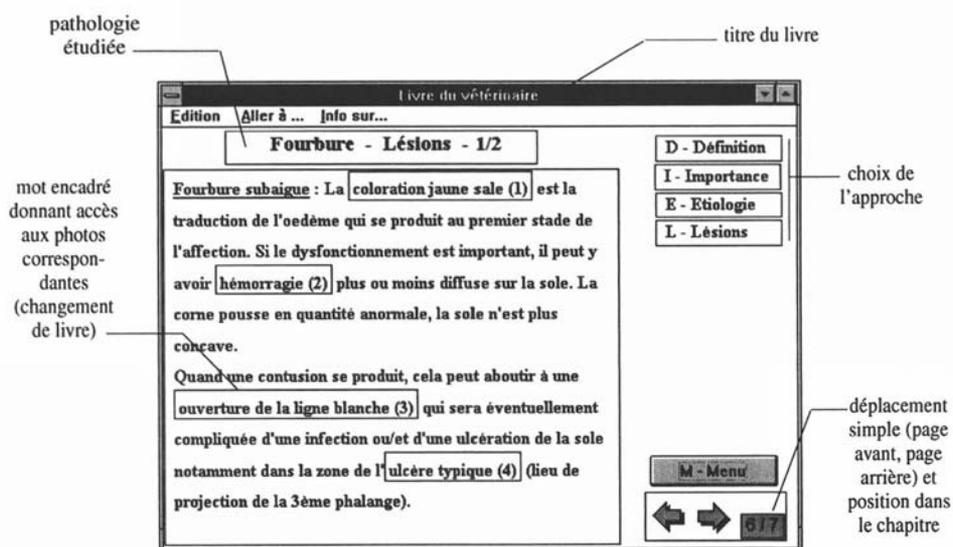


Figure 6. Une page-type du livre du vétérinaire

• **Le livre d'images**

une iconographie indexée, légendée et commentée

Ce livre peut soit servir d'iconothèque pour les autres livres, soit être consulté de façon autonome, grâce à un menu qui permet d'accéder à des images de lésion, de bâtiments (hygiène et confort) ou de pieds (anatomie, conformation, parage). Toutes les photos sont indexées par des mots-clés, qui servent de liens en direction des autres livres (si à une rubrique "lésion" du livre du vétérinaire, on clique sur le mot "hémorragie", on accède immédiatement aux photos d'hémorragie disponibles). Les photos de lésion sont systématiquement accompagnées d'un commentaire dont les termes ont été déterminés avec beaucoup de soin, dans un souci de normalisation.

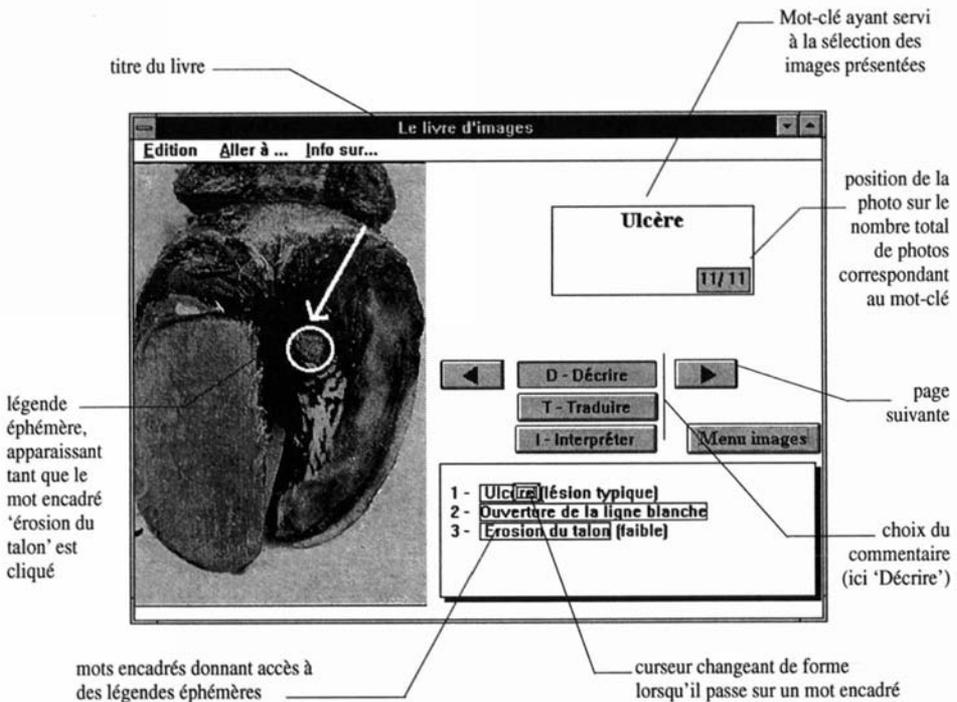


Figure 7. Une page-type du livre d'images

L'iconographie initiale était disponible sous forme de diapositives, que nous avons numérisées sur un Photo-CD. Après transcodage en format informatique, nous avons traité les images de façon à les rendre les plus proches possible de la réalité. Nous n'avons pas cherché à contraster les zones intéressantes, ni à modifier certaines couleurs. Cela dit, malgré l'optimisation de la réduction de 16 millions en 256

couleurs (3), nous avons parfois été obligés de rééchantillonner certaines dominantes, au détriment des couleurs de fond.

une navigation
assistée...

La navigation dans et entre les livres se fait par l'activation de zones sensibles, telles que des boutons, des flèches, des menus déroulants, ou des mots encadrés. Ainsi, le passage d'un livre à l'autre peut se faire par le menu ou par des liens déclenchés par certains boutons ou certains mots encadrés : on arrive alors à un chapitre spécifique, lié au problème en cours. Une touche permet à tout moment de revenir au livre précédent : on retrouve le livre précédent à la page à laquelle on l'a quitté. Un effort de simplification et de systématisation, ainsi qu'un recours à un système d'aide sur le fond (explications et calculs) et sur la forme (manipulation informatique) permet un usage spontané du logiciel. De plus, un bouton "boussole" permet d'accéder à un plan de l'architecture du livre, sur lequel est repérée la position des utilisateurs.

pour donner
du sens à
la consultation
de l'outil

Afin d'aider les utilisateurs dans leur recherche d'informations, des liens de type hypertexte relient toutes sortes de données. Les questions concernant les facteurs de risque sont ainsi reliées à des données plus théoriques, concernant les différentes maladies, ou à des données techniques. Il existe également des liens avec la banque d'images. Cette liberté de navigation est par moments restreinte par un dispositif de guidage de l'utilisateur qui est défini à partir des procédures de diagnostic. Il est alors impossible d'éviter certaines questions, quelquefois délicates, qui sont rarement notées et qui sont de ce fait souvent omises lors de l'investigation. Ce guidage, dans le cadre d'une démarche de résolution d'un problème, fournit un fil conducteur aux utilisateurs et donne du sens à la manipulation. Il réduit les risques de désorientation de l'utilisateur, de type : « où je suis ? », « qu'étais-je en train de faire avant d'aller regarder cette image ? »

4.2. Interface idéographique

• Ressources iconographiques

L'interface hypermédia permet une manipulation simple et puissante des images. Elle permet surtout d'insérer celles-ci au cœur d'un dispositif d'aide à la résolution de problèmes. Leur utilisation est alors intrinsèquement liée à la prise en charge d'une situation réelle qui résiste. Bien au-delà d'un simple rôle illustratif, les images acquièrent une signification autonome, fonction du contexte et du raisonnement qui les sollicitent. Ainsi, l'effort d'interprétation que nécessite la

(3) Cette limitation à 256 couleurs (imposée par la technologie actuelle des ordinateurs portables) pose essentiellement le problème de la variabilité des rendus selon la carte graphique utilisée.

l'image acquiert
une signification
dans le cadre
d'une activité
de résolution
de problèmes

lecture des images n'est pas gratuit, mais constitue un maillon indispensable à la résolution d'un problème. Dans ce cadre, le dispositif informatique joue le rôle d'un centre de ressources répondant au critère si recherché de **juste à temps**. En effet, l'iconographie disponible n'est jamais imposée. Au gré de ses réflexions, l'utilisateur va choisir de "cueillir" ou non l'une des images disponibles. Ces images, selon le concept de Heidegger, figurent en arrière-plan, **sous la main**, et ne prennent de l'importance que lorsqu'elles permettent de répondre à un manque, à une lacune dans le raisonnement. L'image est inséparable de l'action à laquelle elle participe.

Par ailleurs, la mise à disposition de l'utilisateur d'une grande variété d'images permet d'enrichir sa vision d'une forme biologique dans le temps et dans l'espace :

l'informatique
accroît
les possibilités
de manipulation
des images...

- dans le temps, en montrant les différents stades d'évolution d'une même lésion ; celle-ci, selon qu'elle débute ou qu'elle soit en phase terminale, présente des caractéristiques très changeantes, bien que portant toujours le même nom ;
- dans l'espace, en montrant, pour une même lésion, différentes étendues, différentes gravités, ou tout simplement différents aspects dus au contexte de son apparition (selon l'animal, la pathologie concernée, l'existence ou non d'une médication, etc.).

L'ordinateur donne ainsi accès à une diversité importante de cas et permet à l'utilisateur de multiplier ses observations. Son intérêt, au-delà du fait de donner à voir "plus", est de permettre une mémorisation sur la base de comparaisons de structures symboliques, et pas seulement d'exemples particuliers. En situation de résolution de problème, il permet alors à l'apprenant de donner du sens à des variations d'aspect, même les plus minimes.

Cet avantage évident de la diversité, qui est dû à l'usage d'un logiciel hypermédia, ne doit cependant pas masquer la limite d'un tel dispositif. Il est clair que l'observation directe d'une situation réelle est beaucoup plus riche d'expériences sensorielles. La vision tridimensionnelle, l'odorat, l'ouïe, le toucher, la sensibilité kinesthésique, et la combinaison de ces perceptions produisent une information que la simple vision d'un écran est bien incapable de restituer. Or, c'est parfois une odeur particulière, ou un crépitement inattendu, qui va orienter la démarche exploratoire et constituer alors une donnée essentielle. L'outil informatique ne saurait en aucun cas se substituer à un apprentissage de l'observation directe. Il vient le compléter, de manière plus efficace que n'importe quel livre ou collection de diapositives. Il permet de rapporter des **images réalistes**, à l'intérieur desquelles les éléments significatifs sont plus ou moins masqués dans une surabondance de signes, à des **images prototypiques**, les "cas d'école", dont les traits les plus importants sont particulièrement visibles.

mais elle
ne saurait se
substituer à
une observation
directe

• **Articulation image / texte**

pour résoudre
la question de
l'articulation
entre texte
et image...

La conception d'un hypermédia repose sur la construction d'un réseau de liens reliant toutes sortes d'informations, quelle que soit leur forme : textes, graphiques, images, sons, vidéos, etc. L'existence d'un lien explicite entre texte et image, entre code verbal et code iconique est essentielle, dès lors que l'image entre dans un processus de communication visant à l'apprentissage de références. Sauf dans le cas d'un exercice de reconnaissance (de type "autoévaluation" par exemple), une image ne doit jamais être livrée sans un commentaire précisant ce que l'on voit, ce qui est particulier, ce qui n'est qu'artefact, l'échelle, le contexte, etc. Le lien entre ce commentaire et l'image, autrement dit la **légende**, est malheureusement souvent absent dans les livres. Le lecteur peut alors ne pas repérer dans l'image ce qui est précisé dans le texte, ou, pire encore, se tromper d'objet dans l'image, ce qui peut être lourd de conséquences. Mais une légende systématique, même bien faite (ce qui est rare !), a aussi des inconvénients. D'abord parce qu'elle parasite l'image par des incrustations artificielles qui peuvent gêner le regard. Et surtout parce qu'elle rend évidente l'identification des objets désignés par le texte, là où le lecteur pourrait avoir besoin de réaliser qu'il est incapable de les repérer, le privant à coup sûr de toute possibilité d'apprentissage.

nous avons
conçu
un dispositif
de "légendes
éphémères"

La solution que nous avons imaginée, et que nous avons appelée *légende éphémère*, a été rendue possible grâce à l'informatique. Son principe, très simple, consiste à faire apparaître une légende correspondant à un mot du commentaire lorsque celui-ci est pointé par le curseur de la souris, et à la faire disparaître dès que ce mot n'est plus pointé. La légende est constituée d'éléments déictiques (des flèches, mais aussi le contour des objets, ou des surfaces, etc.). Ceci permet de laisser une image *a priori* vierge, tout en autorisant la création de légendes détaillées et très parlantes. La légende éphémère autorise une articulation texte-image, et permet de répondre aux interrogations de l'utilisateur, sous réserve cependant que des questions soient posées. Cela incite le lecteur à un comportement actif : bouger le curseur pour découvrir l'objet en question, ou éventuellement pour confirmer sa supposition.

• **Normalisation des observations**

les trois temps de
l'observation :
description,
traduction,
interprétation

Le commentaire est construit en trois parties, correspondant à trois interrogations : "ce qu'on voit", "comment on l'appelle", et "ce qu'on peut en dire". Sur l'interface hypermédia, l'accès à ces trois étapes du commentaire est sous le contrôle de trois boutons de navigation, ce qui incite l'utilisateur à prendre conscience de ces distinctions, et à tenter de fournir lui-même ces informations avant de cliquer sur les boutons. Ce principe permet de prolonger aussi loin que possible la part objective de l'observation, car si la description peut être purement scientifique et positiviste, • *l'inter-*

prétation a un peu recours à l'art et à une forme d'objectivité qui réserve une large part au consensus » (Wackenheim 1987, p. 21). L'objectivation du commentaire en trois étapes peut être décrit à partir d'un exemple suivant (Cabanié 1993) (4) :

- 1 - la **description**, pour dégager les éléments significatifs de l'image :
ex. COEUR (veau de 1 mois)
 - . valvule auriculo-ventriculaire droite (tricuspide), cordages,
 - . deux kystes contenant du sang (diamètre : 0,3 cm) ;
- 2 - la **traduction**, pour nommer la ou les lésion(s) recon-
 nue(s) :
ex. kyste hématique valvulaire ;
- 3 - l'**interprétation**, pour répondre aux questions concer-
 nant la fréquence, les causes et la signification patholo-
 gique :
ex. . observation suffisante pour le diagnostic lésionnel,
. observation fréquente chez le veau, non observée
chez l'adulte,
. anomalie congénitale des vaisseaux sanguins valvu-
laires (ectasie),
. pas de signification pathologique pour la conclusion
nécropsique (absence de conséquences fonction-
nelles et lésionnelles).

la précision du
commentaire est
essentielle...

Au-delà d'une réflexion sur l'organisation de la lecture d'images, ce travail sur le commentaire fait apparaître les difficultés liées au manque de normalisation du langage employé. Par exemple, beaucoup de praticiens parlent d'hépatite dès qu'il s'agit du foie, alors qu'il peut s'agir d'une dégénérescence, et non d'une inflammation. L'utilisation de termes empruntés au langage courant, les rivalités d'écoles ou tout simplement de mauvaises habitudes se traduisent par des confusions, des approximations, et au bout du compte par des incompréhensions. Ainsi peut-on comprendre l'ironie d'un enseignant en pathologie du bétail à l'École Vétérinaire de Toulouse (Schelcher 1993) : « *Après bien des années de pratique, en voyant pour la première fois une noix de muscade coupée en deux, je me suis dit : tiens, on dirait un foie-muscade.* » (5)

La recherche d'une codification du vocabulaire de description doit rester pragmatique. Dans un domaine qui repose plus sur un consensus que sur des lois universelles, il est nécessaire de trouver une autorité reconnue, capable d'imposer son point de vue, mais qui puisse également prendre en compte un "déjà-là" plus ou moins fortement présent chez les apprenants. Ainsi, si les experts en anatomie patho-

(4) CABANIÉ P. (1993). Communication personnelle.

(5) Foie ayant subi une congestion passive, liée à une insuffisance cardiaque, et présentant des marbrures noires.
 SCHELCHER F. (1993). Communication personnelle.

logique éprouvent la nécessité de préciser que la broncho-pneumonie interstitielle aiguë ne concerne que les cloisons entre les alvéoles et non les cloisons entre les lobules eux-mêmes, ce n'est pas toujours une distinction pertinente pour les futurs praticiens de terrain.

mais celui-ci doit rester compréhensible pour des "non-spécialistes"

La réflexion sur la normalisation du commentaire doit trouver sa place entre deux contraintes parfois contradictoires :

- d'une part, fixer un vocabulaire scientifique aussi rigoureux et précis que possible, gage que tout le monde parle la même langue ;
- d'autre part, choisir un vocabulaire accessible à des non-spécialistes, afin que ceux-ci puissent l'utiliser au quotidien dans leurs pratiques professionnelles.

CONCLUSION

À défaut de modèles mathématiques, une approche théorique de la biologie doit être canalisée par l'expression linguistique elle-même (monographies, études de cas, locutions, etc.). L'image, dans la mesure où elle possède un code iconique, peut avoir un rôle décisif dans l'apprentissage des formes biologiques, en tant qu'aide à la traduction verbale des signes observés. Dans une perspective d'apprentissage du diagnostic d'élevage, le recours à l'image ne peut être dissocié ni de l'activité sémiotique, ni de l'activité motrice de l'apprenant. Aussi, l'utilisation d'un vecteur tel que les hypermédias doit être reliée à un enseignement **face au cas**, mobilisant simultanément les trois piliers de la démarche diagnostique : **perception, conceptualisation et action**. Ceci nous a conduits à privilégier une forme d'apprentissage qui soit proche de ce qui est pratiqué dans le compagnonnage, et qui caractérise également l'enseignement médical (e.g., le tutorat clinique).

l'image peut jouer un rôle décisif dans l'apprentissage des formes biologiques

L'hypermédia *MAMBO-VL*, en raison de sa conception, répond à ces différents critères. Il permet à ses utilisateurs de donner du sens à des données conceptuelles, manipulées au sein d'une activité très signifiante. Des dispositifs techniques, reposant sur l'utilisation d'images, favorisent les possibilités de compréhension (e.g., les légendes éphémères) et de communication (normalisation des commentaires). Si cet outil n'a pas encore été expérimenté du point de vue de la puissance opératoire de sa base iconographique (seule la pertinence de la démarche écopathologique et le développement de l'interaction dans le dialogue ont été mis en évidence), il existe une demande sociale pour ce type de produit. Cette demande émane notamment de professionnels ayant déjà engagé une réflexion sur le renouvellement de leurs pratiques.

MAMBO-VL répond à une demande sociale

Au total, l'efficacité du recours à l'image dans un environnement d'apprentissage dépend de la satisfaction de plusieurs

trois conditions pour un recours efficace à l'image

conditions relatives à la situation didactique : (a) une **articulation entre le code graphique** (défini sur les images) **et le code verbal** (les commentaires) doit permettre le passage de "ce que l'on voit" à "comment on l'appelle" puis à "ce que l'on peut en dire" ; (b) un guidage systématique doit orienter la collecte des signes dans le cadre d'une activité de résolution de problèmes (**étude de cas**) ; (c) la consultation de l'outil informatique doit s'insérer dans une situation d'apprentissage "face au cas" à travers une activité dialogique.

Alain GAY
Philippe SABATIER
Unité BioInformatique
École Vétérinaire de Lyon
Jean GRÉA
LIRDHIST
Université Claude Bernard Lyon 1

BIBLIOGRAPHIE

BERTALANFFY L. von (1961). *Les problèmes de la vie*. Paris : Gallimard, 230 p.

CANGUILHEM G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.

CLÉMENT P., SCHEPS R., STEWART J. (1995). "Une interprétation biologique de l'interprétation. 1 - Umwelt et Interprétation". Actes du colloque de Cerisy *Herméneutique, Textes et Sciences*. (sept. 94). Sous presse.

DUFRESNE A. (1993). "En guise de conclusion : hypermédias et apprentissage, perspectives". In : Baron, Baudé et La Passardière éditeurs, *Hypermédias et apprentissages*, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993, EPI - CUEPP - INRP, pp. 241-246.

DUMAS-CARRÉ A., CAILLOT M., MARTINEZ-TORREGROSSA J., GIL D. (1989). "Deux approches pour modifier les activités de résolution de problème en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse". *Aster* n° 8, pp. 35-160.

ECO U. (1972). *La structure absente*. (Édition entièrement revue de l'original : *La struttura assente* publié à Milan en 1968). Paris : Mercure de France. Section B : "Vers une sémiotique des codes visuels", pp. 170-257.

GAGNIÈRE J.-P., ANDRÉ-FONTAINE G., DROUIN P., FAYE B., MADEC F., ROSNER G., FOURICHON C., WANG B., TILLON J.P. (1991). "L'écopathologie : une méthode d'approche de la santé en élevage". *INRA Productions Animales*, 1991, 4(3), pp. 247-256.

GARNIER M., DELAMARE V. (1985). *Dictionnaire des termes techniques de médecine*. 21^e édition, Paris : Maloine, 873 p.

GAY A. (1995). *Étude didactique de situations de construction collaborative de diagnostics d'élevage. Intérêt des didacticiens hypermédias pour la communication interprofessionnelle et l'opérationnalisation des savoirs théoriques*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard de Lyon, 327 p.

GAY A., SABATIER Ph. (1994). *MAMBO-VL : Multimédia d'Aide à la Maîtrise de Boiteries de Vaches Laitières*. Brochure de Communication. École Vétérinaire de Lyon, 15 p.

GOLDSTEIN K. (1934). *Der Aufbau des Organismus*. Traduit en français : *La structure de l'organisme*. Paris : Gallimard (1951), 446 p.

JACQUINOT G. (1988). "Pas sage comme une image ou de l'utilisation des images en pathologie". *Bulletin de Psychologie*, n° 386, tome XLI, Juin-Août 88, pp. 603-609.

LANGLOIS F., GRÉA J., VIARD J. (1995). "Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas". *Enseñanza de las ciencias*, 13. Barcelona, pp. 179-191.

LATOURE B. (1985). "Les « vues » de l'esprit". *Culture technique*, 14. Neuilly : CRCT, pp. 4-29.

PICHOT A. (1991). *Petite phénoménologie de la connaissance*. Paris : Gallimard, 973 p.

PRIETO L. (1966). *Messages et signaux*. Paris : PUF.

SABATIER Ph. , FORESTIER J., MARZIN P. (1994). "L'élevage, le conseil et l'écopathologie. Résultats d'une approche didactique de situations de diagnostic d'élevage en production porcine". *Veterinary Research*, 25. Paris : Elsevier/INRA, pp.290-299.

THOM R. (1990). *Apologie du logos*. Paris : Hachette, 664 p.

WACKENHEIM A. (1987). *Perception, Commentaire et Interprétation de l'Image, par les Intelligences Naturelles et Artificielles*. Berlin : Springer Verlag, 119 p.

ZARIFIAN P. (1990). *La nouvelle productivité*. Paris : L'Harmattan, 212 p.

LE "JEU DES NATURALISTES" : image, imaginaire et activité scientifique

Joëlle Le Marec
Martine Scrive

L'analyse qualitative des comportements d'un petit nombre de visiteurs de la Cité des Sciences et de l'Industrie a permis de déterminer les usages du "Jeu des Naturalistes". L'objectif de ce jeu est de faire pénétrer le visiteur dans la démarche de trois naturalistes du XVIIIème siècle : la classification des plantes par Lamarck, l'identification d'animaux à partir d'ossements par Cuvier, l'observation des formes géométriques des cristaux par Haüy. On s'aperçoit que le rôle dévolu à l'image induit un comportement d'observation et une interprétation où l'imagination des visiteurs tient une large place. Par ailleurs, la démarche de chaque naturaliste a été exprimée à travers le scénario organisant la logique informatique du jeu. L'interactivité qui en résulte et son usage plus ou moins ludique conditionnent la représentation de l'activité scientifique déduite par les visiteurs. Dans cette interprétation l'imaginaire joue un rôle majeur.

La muséographie à la Cité des Sciences et de l'Industrie est caractérisée par des expositions thématiques à supports multiples. On y trouve des objets, maquettes, panneaux, audiovisuels, décors, manipulations mécaniques et éléments interactifs pilotés par ordinateur, désormais assimilés aux "interactifs" dans la plupart des musées et centres de culture scientifique et technique.

À la CSI, tous ces supports sont distribués dans un espace ouvert et discontinu qui permet parfois une lecture autonome des interactifs, c'est-à-dire indépendante du contexte de l'exposition. Ainsi, à l'occasion des résultats d'évaluation de l'exposition *La Vigne et le Vin* (1), il avait été remarqué qu'une fraction de visiteurs se limitait à une visite par les interactifs, dans une pratique de visite-découverte d'éléments réputés être typiques de la Cité des Sciences.

Le *Jeu des Naturalistes*, conçu à l'occasion de l'exposition *Les savants et la Révolution*, a été réinstallé en 1990 hors du contexte de l'exposition après la fermeture de celle-ci. Dans le "Quartier des Cinémas", où était installé le logiciel, l'élément relativement discret se trouvait en retrait, dans la pénombre. Il jouait cependant un rôle d'appel manifeste auprès du public. Plus qu'un élément d'appel pour l'espace dans lequel il se trouvait, il s'agit d'un élément repéré, et exploité de façon autonome par rapport à son environne-

à la CSI
les "interactifs"
font parfois
l'objet
de parcours
autonomes

ce qui autorise
leur analyse indé-
pendamment
du contexte
de l'exposition

(1) BRÉAUD C. et LE MAREC J., *La vigne et le vin, analyse d'une exposition*, rapport d'étude par le service "Programmation et Évaluation de la Cité des Sciences et de l'Industrie", Mai 1989.

ment. Cette situation nous permettait de développer une analyse entièrement centrée sur le jeu (2).

1. LES OBJECTIFS DU JEU DES NATURALISTES

un "interactif"
n'est pas toujours
une banque
de données...

Le *Jeu des Naturalistes* fait partie des interactifs qui ne sont pas des banques de données mais qui permettent la simulation de phénomènes invisibles, qui se déroulent à des échelles trop grandes ou trop petites, dans des temps trop brefs ou trop longs. Ces interactifs permettent également de faire prendre des décisions au visiteur, et de l'impliquer ainsi dans une démarche d'appropriation, ou bien dans une démarche d'expression. Ils permettent enfin, dans certains cas, de simuler des modes de raisonnements (manipulation de paramètres, exercice de la déduction, etc.), raisonnements permettant soit l'accès à des connaissances scientifiques, soit la construction scientifique de connaissances.

ici il met en jeu la
démarche
scientifique

Dans le cas du *Jeu des Naturalistes*, la présentation de l'activité scientifique s'intéresse moins au résultat et aux connaissances qu'à la démarche scientifique. Le fait qu'il s'agisse d'une approche historique est déterminant à cet égard. L'objectif déclaré du concepteur scientifique Jean-Marc Drouin est l'utilisation de l'image informatique et du scénario pour donner une idée de l'activité scientifique des naturalistes au XVIII^e siècle.

1.1. Trois scénarios pour un jeu

Le jeu est composé de trois scénarios qui ont été présentés sur le même interactif, entre lesquels le visiteur pouvait choisir grâce au menu présenté en début d'interaction.

trois démarches
de naturalistes du
XVIII^e siècle à
découvrir

Trois innovations de l'époque ont été retenues, la première en botanique, la seconde en zoologie, et la troisième en minéralogie, qui donnent chacune lieu à un scénario sur la même borne interactive. Dans chacun des trois domaines, « on a choisi des données encore valables actuellement de façon à ce que le jeu fasse découvrir au visiteur quelques notions sur les sciences naturelles en même temps qu'une étape de leur histoire », précise Jean-Marc Drouin (3), qui détaille également les objectifs spécifiques de ces trois scénarios distincts, formant les trois parties du *Jeu des Naturalistes*.

(2) Cette étude a été réalisée par Joëlle Le Marec, de la cellule "Évaluation" de la Cité des Sciences et de l'Industrie, sous la direction de Martine Scrive dans le cadre d'une recherche du CNRS sur la transposition des composants de l'activité scientifique dans l'exposition.

(3) DROUIN J.-M. "Images d'aujourd'hui et naturalistes d'hier", 115^e Congrès National des Sociétés Savantes *Image et Science*, à Avignon. Paris, CTHS, 1992. p. 105-115. Les citations suivantes sont également extraites de ce texte.

...celle
d'un botaniste,

« En botanique, Lamarck, dans la "Flore française" publiée en 1778, introduit le principe des clés de détermination dichotomique pour l'identification des espèces et en donne le mode d'emploi. La première partie du jeu permet au visiteur de trouver le nom d'une plante parmi la douzaine qui lui sont proposés. L'organisation des questions et le choix des exemples sont ceux de Lamarck. Pour rendre plus compréhensibles les questions - en particulier celles comportant des mots techniques comme pistil ou étamines - pour permettre aux visiteurs de voir plus en détail la plante choisie comme pour identifier au départ les plantes sans les nommer, des dessins étaient indispensables. » Le visiteur ayant choisi une plante non nommée se voit alors poser une question nécessitant l'observation approfondie du dessin de la plante ou d'une partie de la plante, puis, après passage à l'écran suivant, une seconde question, etc., avant d'aboutir, si toutes les réponses fournies sont exactes, à l'écran reprenant le dessin de la plante accompagnée de son nom. Le principe est strictement le même que celui de la flore, qui est une méthode d'identification.

...d'un
zoologiste,

« En zoologie, on a voulu évoquer la manière spectaculaire dont Cuvier pouvait déterminer tout un animal à partir de quelques os. Le scénario proposé au visiteur repose essentiellement sur des dessins de Cuvier lui-même et permet au visiteur d'associer des squelettes de vertébrés avec les crânes correspondant. » Les éléments de squelette des crânes, tronc et pattes de trois vertébrés très différents (mammifère carnivore, mammifère herbivore, oiseau) sont dissociés et mélangés. À l'aide d'une *track ball*, le visiteur déplace ces éléments à l'écran et les associe pour reconstituer le squelette complet des trois animaux. Dans un second temps, le visiteur doit choisir parmi plusieurs propositions le nom de l'animal auquel appartient un élément de squelette présenté à l'écran. En cas de difficulté, des éléments de squelette supplémentaires apparaissent.

L'ensemble du scénario est à la fois le rappel d'une mise en scène publique d'identification d'un animal par Cuvier, et un test très simple de la compréhension des critères qui peuvent permettre la détermination des animaux à partir des éléments de leur squelette (le régime alimentaire, le mode de locomotion).

...d'un
minéralogiste

« En minéralogie, le nom de Haüy est associé à l'approche géométrique des structures cristallines. Les possibilités graphiques de l'ordinateur permettent d'évoquer une anecdote sur Haüy puis de visualiser la transformation du cube en dodécaèdre à faces losanges dont Haüy a donné tout le détail. » Dans cette dernière partie, le visiteur n'intervient pas, il lit le récit illustré de la découverte de Haüy en quelques écrans successifs, puis regarde l'animation graphique qui met en scène la transformation du cube.

1.2. La structure du jeu, reflet d'une conception multiple, oeuvre des espaces d'interprétation originaux

le résultat
de plusieurs
approches

Ce jeu, destiné à une exposition, est le résultat d'interventions de spécialistes qui ne sont pas que scientifiques. Il y a eu collaboration entre Jean-Marc Drouin, le concepteur scientifique, historien des sciences, Christian Lecouffe, le concepteur informatique, membre d'un service interne à la Cité des Sciences spécialisé dans l'élaboration des scénarios et la conception des interactifs et Jean Detrez, graphiste. Florence Besset, commissaire de l'exposition *Les savants et la Révolution*, pour laquelle a été conçu ce jeu, est intervenue pour étendre à trois scénarios un jeu initialement réduit à la partie sur la botanique, et finalement consacré "aux trois règnes de la nature". En effet, la méthode de détermination due à Lamarck, à l'origine du projet de jeu interactif, a trouvé dans le scénario informatique sa formalisation idéale. Les deux autres parties (zoologie et minéralogie) ont été trouvées dans un second temps. Dans le cas de la partie consacrée à l'anatomie comparée avec Cuvier, il y a eu négociation entre le concepteur scientifique, qui souhaitait privilégier l'identification claire par le visiteur d'un contenu historique, et le concepteur informatique, qui souhaitait amplifier les possibilités laissées à l'utilisateur de construire les squelettes par association des fragments proposés.

Nous verrons que les interprétations du jeu développées par les visiteurs interrogés se développent justement dans le "jeu" laissé entre les différents pôles de référence que sont le récit historique, l'imaginaire issu des représentations imagées et l'invention ludique.

2. L'ÉTUDE DE TERRAIN, UNE APPROCHE QUALITATIVE, DANS UN CONTEXTE D'USAGE INDIVIDUEL OU FAMILIAL

une analyse
qui ne vise pas
à remédier
aux problèmes

Les études menées par la cellule "Évaluation" sont fondamentalement qualitatives. Elles n'ont pas nécessairement pour objectif d'étudier les dysfonctionnements des éléments d'exposition afin d'y remédier. Il s'agit plus souvent, comme c'est le cas ici, d'analyses compréhensives, où l'on cherche à s'identifier à des individus observés afin de s'incorporer leur logique, depuis leur propre point de vue. Ces évaluations sont centrées sur les usages mis en œuvre par les visiteurs, et sur les significations données par eux à ces usages (4).

(4) LE MAREC J. "L'interactivité, rencontre entre visiteurs et concepteurs" *Publics et Musées* 3, 1993, p. 91-108. *Évaluation des interactifs à la cité des Sciences*, rapport d'étude du G.R.E.S.E.C. non encore diffusé.

D'un point de vue opérationnel, ce type d'évaluation permet de découvrir des possibilités inattendues ouvertes par les dispositifs muséographiques, mais aussi d'en repérer les limites.

mais
à comprendre
les usages
multiples d'un jeu
très riche dans
sa conception

C'est la richesse et l'intérêt du jeu, *a priori*, du point de vue de la conception, qui a motivé notre choix d'analyse du *Jeu des Naturalistes*. Étudier un élément d'exposition qui a donné lieu à des réflexions approfondies, à des innovations en matière de médiation, à un intense effort de communication à travers l'image et les scénarios, permettait d'envisager des possibilités d'interprétation *a posteriori* également approfondies des perceptions et des pratiques des visiteurs.

L'étude du *Jeu des Naturalistes* a été menée lorsque le jeu était provisoirement installé dans le hall de l'espace de projection où continuait à être diffusé le film *Les savants et la Révolution* après démontage de l'exposition du même nom. Un évaluateur posté a observé la séquence d'interaction de trente-cinq visiteurs ou groupes de visiteurs (couples, groupes parents/enfants, amis) ayant pratiqué le *Jeu des Naturalistes*.

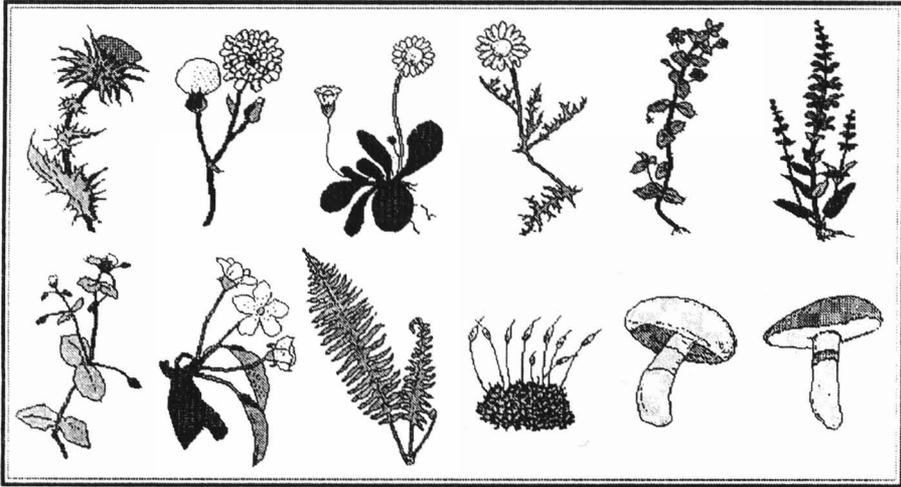
des cas
singulièrement
intéressants

Huit de ces visiteurs ou groupes de visiteurs ont été sollicités pour un entretien après leur interaction. Ce qui a été recherché dans la sélection de cet échantillon réduit a été le repérage par l'observation des cas remarquables, c'est-à-dire d'interactions que l'on pouvait supposer être inspirées par des logiques intéressantes. L'étude n'a pas été menée avec la volonté de connaître les réactions d'un échantillon représentatif du public utilisateur du *Jeu des Naturalistes*. Moins centrée sur le public que sur l'élément lui-même, elle a été menée dans l'intention de mieux connaître le type d'usage et d'interprétation auquel celui-ci pouvait se prêter. Les entretiens, ouverts, étaient destinés à recueillir le récit détaillé de l'interaction, et à travers ce récit, son analyse. Effectués à proximité de la borne interactive, ils pouvaient à tout moment être interrompus par la reprise de l'interaction ("tenez, je vais vous montrer"), lorsque la borne n'était pas utilisée par d'autres personnes. L'invitation à pratiquer à nouveau le jeu était systématiquement faite par l'enquêteur.

observés
de façon
approfondie

Par ailleurs, sept visiteurs ont été sollicités à leur arrivée dans le hall d'accueil de la Cité des Sciences pour pratiquer l'élément en compagnie de l'évaluateur, et commenter cette interaction, avant d'entreprendre leur visite. Ces interactions réalisées en conditions de test permettaient également d'optimiser l'intensité de l'implication de visiteurs volontaires rendus particulièrement attentifs, et par ce moyen, d'intensifier et de conscientiser les possibilités d'interprétation ouvertes par le jeu.

Choisissez la plante
dont vous voulez déterminer le nom :



LES TROIS REGNES
DE LA
NATURE
SOUS LA
REVOLUTION



A LA VILLETTE,
MCHLXXXIX

page suivante: Validation

Pages-écran du "Jeu des Naturalistes".
Concepteurs : Jean-Marc DROUIN et Christian LECOUFFE.
Cité des Sciences et de l'Industrie (reproduit avec l'aimable autorisation
de la Cité des Sciences et de l'Industrie)

3. UNE IMAGE VIRTUELLE MAIS RÉALISTE

une image
informatisée
au statut de
modernité qui
gomme l'aspect
historique

Dans ce jeu, le système de visualisation est une image informatisée. Pour les deux premiers scénarios, le graphisme bien qu'inspiré des planches naturalistes du XVIIIème siècle acquiert un statut de modernité par le tracé "au pixel" et la présentation sur un support qui incarne les nouvelles technologies : l'ordinateur. Le troisième scénario (consacré à la minéralogie) faisant appel à une image de synthèse accentue ce statut de modernité. Le support visuel - écran d'ordinateur - qui ne présente que des images virtuelles, dessinées par la lumière qui s'éteint et s'allume, entraîne aussi le visiteur hors du temps. Une des conséquences observées auprès de pratiquement tous les visiteurs est la disparition de la dimension historique, pourtant nettement affirmée dans les textes de présentation en début de jeu.

Pourtant, bien que l'image soit informatisée, il ne s'agit absolument pas d'icônes stylisées comme on en trouve fréquemment dans les logiciels pédagogiques et de nombreux jeux commerciaux.

Pour les deux premiers jeux tout a été mis en œuvre pour offrir des images gardant la fraîcheur, l'aspect réaliste et le style des illustrations anciennes. J.-M. Drouin donne des précisions. Pour le scénario de Lamarck, « nous avons utilisé la Flore de Bulliard de 1774, une flore de la région parisienne dont les illustrations coloriées à la main étaient d'une fraîcheur et d'une précision exceptionnelles... » Pour le scénario de Cuvier, « nous avons trouvé dans Le tableau élémentaire de l'histoire des animaux (1797) et dans Les recherches sur les ossements fossiles des quadrupèdes (1812) des planches qu'il nous a suffi de transformer légèrement et de compléter par quelques gravures du XIXème siècle ». L'informaticien remarque : « nous avons fait l'acquisition d'une caméra à numériser permettant de capturer et restituer une image graphique de haute qualité. L'usage de cette caméra a posé de gros problèmes au graphiste qui a dû reprendre à la main la plupart des couleurs mal traduites par la caméra. »

mais une image
très réaliste
qui induit
l'observation
et développe
l'imaginaire

L'image, très détaillée, ouvre la possibilité d'une démarche d'observation sur des objets représentés de manière très réaliste. Un tel traitement permet de signifier à l'utilisateur qu'il n'est pas dans un jeu de test de connaissances ou de logique, mais dans une démarche naturaliste d'observation. L'intention de faire entrer le visiteur dans la démarche scientifique du XVIIIème siècle devient crédible. Il s'agissait là d'un aspect essentiel de la conception.

Ce réalisme conjugué à l'impression de virtualité et d'intemporalité produite par l'ordinateur, ouvre la voie à l'imagination et renvoie chaque visiteur à son univers culturel, à son bestiaire personnel. Par exemple, dans le scénario zoologique, les squelettes présentés sont volontiers replacés dans le temps et l'espace des mondes et des espèces disparues :

un squelette d'écureuil sera sans difficulté transformé en dinosaure.

Le scénario sur les minéraux s'appuie sur une image de synthèse car « *les règles chiffrées de construction des faces d'un cristal ont donné un algorithme grâce auquel a pu être réalisé une animation informatique en 3 D qui visualise l'information* » (5).

4. L'INTERPRÉTATION DE L'ACTIVITÉ ET LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE

une variété
d'interactivités
offertes selon
les images

Dans les trois parties du jeu (botanique, zoologie, minéralogie), on a vu combien l'image joue un rôle central dans la construction du scénario. Ce rôle donné à l'image conduit à un type d'interactivité très différent selon les cas. Dans le cas du scénario botanique, est proposée une observation approfondie des images détaillées et c'est en conséquence l'activité de reconnaissance de ses différentes parties qui est mobilisée. Dans le cas du scénario zoologique, il est offert de manipuler et d'interpréter des images, mobilisant de ce fait les connaissances, l'imagination, et le raisonnement. L'interactivité offerte dans le scénario minéralogique est réduite au visionnement d'un spectacle, celui de la transformation d'une image calculée. On verra plus loin que le type d'interactivité proposé suscite la nature des usages et des interprétations des visiteurs.

4.1. La mise en relation spontanée entre activité et acquisition

l'intensité
de l'interactivité
donne
le sentiment
d'un apprentis-
sage important

Il est significatif que l'on puisse éprouver le sentiment d'avoir le plus appris dans la partie consacrée à la zoologie, qui oblige non seulement à faire des choix pour trouver des réponses exactes, mais aussi à manipuler des images-objets à l'écran. Dans les entretiens, les citations qui reflètent cette perception sont nombreuses : « *C'est là qu'il faut le plus de jugeote par rapport aux ossements, le plus d'observation. Le but est de faire voir la métamorphose d'un animal, d'être capable de reconnaître la morphologie des ossements.* » (6)

L'apprentissage d'une agilité dans le maniement de la souris, et la maîtrise sur le contenu de l'écran comme "monde sensible" sont sans doute pour beaucoup dans cette perception. Le sentiment de l'apport est lié à l'investissement dans le jeu qui est intense. L'apprentissage de la souris et l'action directe sur le monde de l'écran peut générer le sentiment indifférencié d'avoir beaucoup appris, et bénéficier ainsi à la construction d'une représentation du jeu comme étant très riche en contenu.

(5) DROUIN J.-M. (1992), op. cit. note (3).

(6) Paroles de visiteurs, ainsi que toutes les citations de ce chapitre.

jeu ou
apprentissage ?

À l'inverse, la partie consacrée à la minéralogie est jugée comme étant la moins intéressante, et les arguments portent sur l'absence de manipulation : « *On ne participe pas assez. Je n'ai pas compris le début.* » « *Ça ne ressemble pas aux deux autres, on ne fait plus rien.* » La déception qui concerne la pauvreté de la manipulation n'est cependant pas partagée par une utilisatrice, qui, contrairement aux autres, y voit une garantie d'un sérieux supplémentaire par rapport aux deux autres parties plus ludiques : « *Ah ! Là on apprend des choses !... Il n'y a pas de jeu, c'est plus une découverte, c'est bien si on veut apprendre quelque chose. Là, une découverte sur la loi des cristaux.* » Même réflexion chez un autre : « *C'est plus instructif.* » Mais il préfère cependant les autres parties car : « *Là, il n'y a pas de jeu, pas de question.* » Cette antinomie entre contenu et jeu semble d'ailleurs au cœur de l'interprétation de l'interactif dans l'attitude de quelques jeunes visiteurs qui ne pratiquent **que** le jeu, comme si le repérage d'un genre ludique impliquait exclusivement des enjeux ludiques. Il s'agit alors de gagner ou de perdre. Un visiteur ayant pratiqué avec succès la reconstruction des squelettes est néanmoins déçu : « *Il ne me dit pas que j'ai gagné.* » Un groupe de lycéens déplore l'absence de "scores".

Que l'on ait eu le sentiment d'avoir appris plus ou moins, dans les deux cas, cette perception implique une relation directe entre l'activité et l'apport en termes de contenu. Pour la plupart des visiteurs, le jeu où la manipulation est la plus intense est nécessairement celui où l'on en apprend le plus. Pour deux visiteurs, le jeu où la manipulation est absente est de ce fait même celui qui est le plus instructif.

4.2. L'identification de l'activité à la méthode

Nous allons voir que si les visiteurs ont effectivement assimilé leur activité à un contenu scientifique, cette perception est malgré tout en décalage avec la démarche de conception. Ce décalage est lié d'une part aux représentations de ce qu'est l'activité scientifique, et d'autre part à la valorisation de la manipulation effective dans la partie du scénario consacrée à la zoologie, alors que l'activité de raisonnement pratiquée dans la partie botanique est beaucoup moins visible.

Du point de vue de la conception, c'est dans la partie consacrée à la botanique que l'activité pratiquée constitue le contenu scientifique même du scénario. En effet, ce qui est mis en scénario est la détermination de plantes au moyen d'une méthode raisonnée.

Du point de vue des visiteurs, il y a bien identification de l'activité pratiquée à un contenu scientifique réel, mais essentiellement pour la partie du jeu consacrée à l'anatomie comparée, dans laquelle la manipulation des ossements apparaît comme un accès à une activité de recherche. Pourtant, c'est dans la partie botanique que le raisonnement

est conduit pas à pas. Au contraire, dans la partie zoologique, le visiteur associe les ossements et reconnaît les animaux d'après leur squelette au gré de ses impressions et de ses critères personnels, sans que lui soient livrés les principes de la méthode proprement dite.

Dans le cas de la partie consacrée à la botanique, malgré son attrait pour la plupart des visiteurs, l'objectif perçu reste opaque. On ne cite pas la clé de détermination, mais la découverte des plantes : *« Ça fait découvrir les fleurs... ou plutôt, c'est faire observer, c'est de l'observation pure et simple. »*

Pour ce scénario, ce n'est pas directement le terme "méthode" qui apparaît dans la description des objectifs par les visiteurs, mais celui d'observation. L'intuition est intéressante, mais elle reste en deçà de la perception d'une méthode, même si celle-ci se fonde effectivement sur de l'observation. Un visiteur dit : *« On apprend à observer les plantes... Ça renseigne sur la biologie des plantes. »* (hésitation entre deux objectifs hétérogènes). Un autre : *« On ne voit pas le but... il faut dire qu'on n'a pas fait toutes les plantes... ça ressemble au jeu sur les animaux. »* Ce visiteur a choisi de déterminer un champignon à lamelles. Il a réussi sans peine l'exercice, mais reste sur l'impression qu'il aurait fallu faire la totalité des choix possibles pour faire et comprendre réellement le jeu. Il établit artificiellement un rapprochement entre des exemples multiples et les choix nombreux du scénario zoologie. Le visiteur reconstruit spontanément un fonctionnement linéaire d'un scénario où le texte continu est signifiant, au lieu d'y voir une palette d'exemples illustrant un même contenu : la méthode ne peut être perçue, le modèle n'existe pas. Ce qui existe, c'est l'information présente sur les écrans.

un logiciel
parfaitement
adapté à
la démarche
scientifique peut
cacher celle-ci

En fait, le principe du scénario botanique correspond si exactement à celui de la méthode (de détermination) que celle-ci devient invisible au visiteur. J.-M. Drouin déclare d'ailleurs : *« D'une certaine façon l'organisation de notre logiciel était prête depuis deux siècles. »* Dans ce scénario, le processus interactif **est** la méthode, donc le propos. La méthode est pratiquée sans même qu'il soit nécessaire de se la formuler consciemment. La méthode est exposée sans décalage aucun, et, paradoxalement, c'est à cause de cette parfaite adéquation que le contenu passe inaperçu.

l'activité
demandée
au visiteur
détermine sa
compréhension

Cela ne signifie nullement par ailleurs que cette méthode n'ait pas été "enregistrée" par le visiteur. Il y a loin de la démarche à l'explicitation consciente de la démarche. Actuellement, il est difficile d'envisager, sans un minimum d'expérimentation, de tester la façon dont cette méthode a pu être acquise par le visiteur sans pour autant être consciemment perçue. Quoi qu'il en soit, c'est dans la partie zoologique, où la méthode de Cuvier n'est pourtant pas réellement pratiquée, que le fait qu'il s'agisse d'une méthode apparaît avec le plus d'évidence aux yeux des visiteurs, le

décalage même entre la démarche réelle et l'activité pratiquée "révèle" l'idée d'une méthode, même si l'activité ne fait pas apparaître celle-ci. Processus interactif et méthode sont perçus d'un seul mouvement, dans le même temps, dans le dynamisme indifférencié de l'effort fourni : *« On essaie de savoir de quel animal il s'agit, d'après son squelette. Ça oblige à réfléchir à partir du squelette, des pattes. » « On voit comment ces types faisaient, leur méthode. »*

un échec dans le jeu n'est pas toujours un échec, il peut "révéler" la complexité de la démarche scientifique

Il est remarquable à cet égard que même les échecs puissent être interprétés en termes de contenus. Une visiteuse ayant rencontré de nombreuses difficultés dans les parties consacrées à la botanique et à la zoologie, exploite cet "échec" et garde le sentiment d'avoir compris et acquis bien plus que le visiteur qui a pourtant trouvé les solutions. En se référant aux objectifs supposés de l'élément, elle leur donne un sens positif, qui repose sur l'identification au chercheur : *« On a voulu montrer les difficultés de la science qui regarde les squelettes, les problèmes qu'a rencontrés ce Cuvier qui n'a apparemment pas réussi à trouver la solution lui-même. » « Il y a beaucoup de plantes ; c'est très difficile de les comprendre et de les étudier. Ils trouvent des solutions pour ça. Ça montre, comme le jeu des animaux, les difficultés qu'ont eues ces gens, Lamarck, dans leurs recherches. »* Elle s'identifie à Lamarck (et Cuvier), dans une activité qui devient une simulation d'activité de recherche au point que le rôle proposé à l'utilisateur est une simulation de celui du chercheur lui-même. Elle en conclut donc que Cuvier n'aurait pas trouvé la solution, ce que rien dans le scénario ne peut laisser penser *a priori*, bien au contraire. Elle étend au scénario consacré à la minéralogie cette interprétation de ses propres difficultés selon une vision toute personnelle de l'objectif du jeu, une mise en perspective historique de la difficulté de combattre les erreurs comme essence de l'activité scientifique : *« On cherche à montrer que le cristal n'est pas qu'une seule chose, mais qu'il est constitué de nombreux éléments. Il a fallu beaucoup de temps pour parvenir à le comprendre, pour comprendre que les cristaux ne se développent pas comme les végétaux. »*

C'est bien le processus interactif qui est ici en cause, puisque la démarche du visiteur se surajoute à l'information portée par l'élément. En cela, l'analyse de l'interactif peut rejoindre celle d'une exposition, puisque dans les deux cas, le comportement de visite peut être plus signifiant que l'information proprement dite.

4.3. Le cas particulier des visiteurs de formation scientifique

Seuls deux visiteurs, tous deux de formation scientifique, préfèrent le scénario botanique au scénario zoologique. Le premier dit : *« J'ai préféré le jeu botanique parce qu'il y a plusieurs choix, alors que les deux autres imposent un cheminement à suivre. Seul le premier est vraiment interactif... on*

les visiteurs à formation scientifique voient l'exposé de principes au delà de l'interactivité proposée

montre qu'une suite de questions assez simples permet d'identifier de façon unique les plantes... mais pourquoi est-ce qu'il ne m'explique pas où j'ai fait une erreur ? » Si ici le scénario botanique est préféré car perçu comme plus interactif, c'est d'une manière intuitive qui relie interactivité et méthode par l'intermédiaire de la possibilité de choix.

Le deuxième compare également la partie botanique à la partie zoologique, mais d'un point de vue sensiblement différent : « *Dans le jeu botanique il s'agit de reconnaître des plantes, les reconnaître uniquement, suivant le principe d'une flore... le jeu zoologique, ce n'est pas un principe de reconnaissance ; c'est celui d'une classification ; mais il n'y a aucune explication sur les critères de choix... il y a des textes importants dans les deux premiers mais il aurait fallu intégrer toutes ces informations dans le corps du jeu... ils les ont mises à côté, en complément seulement.* » Il compare directement les principes des jeux : deux méthodes qu'il connaît d'avance, l'une de reconnaissance, l'autre de classification. Dès lors, c'est l'exposé de ces principes, au delà de l'interactivité, qu'il perçoit directement et qu'il identifie : il mentionne les textes de compléments qui véhiculent ces principes.

Citons, en contrepoint, la réflexion spontanée, paradoxale, d'un visiteur effectuant le scénario zoologique : « *Ah ! c'est pour reconnaître, pas pour nommer.* » Le visiteur a nettement perçu la différence entre classer et nommer (c'est déjà beaucoup !), mais sa réaction trahit une certaine ambiguïté puisqu'il intervertit les principes des deux jeux.

Le scénario minéralogique est pour les deux visiteurs scientifiques non un jeu, mais une *histoire anecdotique* ("anecdote" est d'ailleurs le terme qu'utilise Jean-Marc Drouin dans son article).

L'un dit : « *Pour expliquer la façon dont les minéraux sont construits, on aurait pu présenter la même chose avec une vidéo, alors que le premier est vraiment interactif.* »

L'autre dit : « *Il s'agit de montrer que les minéraux sont constitués de formes simples dont l'arrangement produit des formes différentes.* » Une fois encore, chez le deuxième scientifique on retrouve une extrapolation directe de ce qui est exposé, une interprétation du scénario dont le contenu est déjà "digéré" et exploité : « *On peut produire des formes différentes.* »

Il est remarquable que l'aspect historique de l'anecdote soit effacé au profit des principes scientifiques.

5. L'IMAGINAIRE AU SERVICE DE L'INTERPRÉTATION DU JEU

Les résultats précédents illustrent la capacité des visiteurs à y mettre du leur pour optimiser le sens des propositions muséographiques qui leur sont faites. Ce sont leurs propres représentations de la démarche scientifique comme intense effort d'organisation du monde sensible, qui sont investies dans l'interprétation de l'activité pratiquée. Cette activité est alors versée dans l'apport en contenu de l'élément.

On retrouve, à d'autres niveaux, de l'imaginaire dans l'interprétation de nombreux aspects du jeu. Dans tous les cas, cet imaginaire tend à charger de sens, voire à surinvestir, les signes offerts aux visiteurs.

Pour la minéralogie qui a suscité relativement peu de commentaires, nous mentionnerons cependant deux remarques spontanées particulièrement intéressantes : « *Ça parle de la taille des cristaux.* » dit un couple de visiteurs. Cette remarque nous a laissés perplexes, jusqu'à ce que J.-M. Drouin évoque un jour l'objectif que fixait Daubenton à son cours de minéralogie à l'École Normale de l'an III. *Que peut-on faire comprendre à l'école élémentaire ? Que les facettes d'un cristal ne sont pas le fruit de l'art.*

Il semble que c'est à notre couple de visiteurs que pensait Daubenton il y a deux siècles, lorsqu'il pressentait les conceptions spontanées des élèves.

C'est ce même couple qui, interrogé sur le type d'exposition dans laquelle pourrait prendre place le *Jeu des Naturalistes*, nous répond : « *On aurait pu faire en plus quelque chose sur le feu, sur l'eau... ça irait bien avec.* » Chez ces visiteurs, la conception aristotélicienne des quatre éléments entre en compétition avec l'idée des trois règnes, pour justifier la cohérence des différentes parties du jeu.

Dans le domaine de la botanique, remarquons tout d'abord que les champignons et les mousses sont le plus souvent choisis, les plantes sans fleurs gardant un caractère d'étrangeté suffisamment fort pour s'imposer lors des sélections.

C'est **dans le scénario de zoologie**, à la faveur des choix très libres non guidés par une méthode explicite que le visiteur a dû effectuer, que les commentaires fournissent les résultats les plus intéressants.

À chaque fois qu'il place un crâne ou un squelette, ou qu'il choisit à quel animal appartient telle partie de squelette, le visiteur est sollicité pour justifier son choix.

Dans la séquence 1 il est proposé d'associer un crâne et un squelette.

Si la reconstitution de l'oiseau ne pose pas de problème, deux visiteurs imaginent cet oiseau (grive, mais l'espèce des animaux n'est signalée que dans la solution), plutôt gros, grand, peut-être préhistorique.

le contexte
culturel de
l'exposition et
une conception
multiple
autorisent des
interprétations
larges

L'écureuil lui-même apparaît trois fois comme un félin, et c'est la raison pour laquelle le crâne de poisson, qui a l'air féroce, "carnivore", lui est fréquemment associé.

Le visiteur hésite souvent à placer le crâne de l'écureuil, "très petit". Dans un cas cependant, un visiteur pose cette tête sans hésiter sur le squelette d'écureuil, mais justifie son choix en disant qu' "une petite tête, ça va bien avec un gros corps", et mentionne les dinosaures à l'appui de son raisonnement.

C'est parce que la tête de l'écureuil "fait moins bizarre là" qu'on parvient à la placer correctement, par élimination d'autres solutions.

Le squelette du poisson, osseux, de même texture que les autres sur le dessin, semble appartenir à une espèce là encore très grande et sans doute préhistorique (deux fois). Il s'agit en réalité d'un poisson-chat.

En l'absence d'échelle de taille, l'imagination dilate les formes. De la même façon, au XVIIIème d'ailleurs, certaines architectures antiques révélées par les fouilles, et véhiculées par des gravures sans indication d'échelle, ont été enflées par l'imagination de jeunes artistes et architectes jusqu'à acquérir des proportions colossales dans des projets de bâtiments "à l'antique".

Ici, nos animaux sont d'ailleurs placés dans une antiquité génératrice de formes gigantesques et inquiétantes : oiseau préhistorique, félin, carnivore, dinosaure ; on est loin de la grive, l'écureuil, et autre poisson-chat.

Parfois, et surtout dans la deuxième séquence (identification de l'éléphant), certains critères apparaissent, dans un effort d'observation réel : absence de branchies, départ de "quelque chose vers le nez", forme du crâne, présence de la queue, présence de doigts au squelette de l'éléphant qui fait hésiter : "un éléphant, ça n'a pas de doigts". Le sens de l'image intervient aussi.

On se trompe rarement sur le choix entre carnivore et herbivore car le squelette fait penser à "une biche": "ces longues pattes fines, c'est plutôt un herbivore".

Pour les animaux comme pour les minéraux, un coup d'œil sur le XVIIIème siècle avec J.-M. Drouin nous replonge dans un imaginaire proche de celui de nos visiteurs. Cuvier lui-même, allait au devant de l'imaginaire de ses interlocuteurs. Pour les convaincre il fabriqua de toute pièce la fiction d'un "taureau carnivore" devenu une chimère impossible avec l'avènement de l'anatomie comparée.

Le public de l'époque actuelle, s'il ne parle pas de taureau carnivore, imagine cependant quantités de légendes d'êtres géants pour expliquer les ossements fossiles qu'on retrouve parfois.

Le monde animal, désormais bien exploré, reste cependant le refuge de l'étrangeté du vivant : gigantisme, férocité réapparaissent dans l'image peu familière du squelette, cachée sous l'apparence banale de l'animal connu.

les images
de squelette
renvoient à
un bestiaire
imaginaire

CONCLUSION

l'intérêt ludique
est assimilé
à l'intérêt
scientifique

Dans les trois scénarios le processus interactif en tant que manipulation des images est le vecteur du contenu lui-même. Nous avons vu que plus l'activité ludique du visiteur est importante plus elle donne le sentiment de l'existence d'une méthode scientifique mais elle n'en donne pas nécessairement les clés de compréhension. En particulier la logique de l'ordinateur qui se fusionne avec celle de la méthodologie scientifique occulte cette dernière.

On s'aperçoit que l'intérêt pour ces trois scénarios découle directement des résultats d'une collaboration où le concepteur scientifique et le médiateur informaticien ont tenté de "tirer" l'élément soit vers le contenu historique et scientifique, soit vers l'activité ludique.

Pour la botanique, il y a eu coïncidence entre le projet scientifique et l'outil informatique : « *l'algorithme était prêt depuis deux siècles* ». Paradoxalement l'activité du visiteur qui se contente de classer des images de manière binaire est faible. Ce logiciel parfaitement adapté n'a guère laissé de place à une médiation ludique de la part du concepteur informaticien. Les visiteurs en font une interprétation tout à fait remarquable : « *L'ordinateur essaie de sélectionner la plante en fonction de ce qu'on a choisi. C'est lui qui cherche. Ce n'est pas comme dans le premier jeu zoologique il ne connaît pas la réponse. Il prend notre réponse pour faire sa réponse [proposer une plante].* » On se situe ici dans un imaginaire du dialogue naturel, direct, avec un interlocuteur qui n'est pas maître, qui n'enseigne pas, mais qui se contente de renvoyer au visiteur, d'égal à égal, ce qu'il comprend de ce qu'on lui raconte, à partir des données que fournissent les visiteurs.

Pour la zoologie, l'objectif de départ était moins figé puisque le concepteur s'est appuyé sur trois idées différentes :

- exploiter la traduction imagée et spectaculaire à laquelle se prêtait la méthode de Cuvier, commentée par des disciples, qui évoquaient la reconstitution magique d'un animal à partir d'un seul os ;
- exploiter les dessins que Cuvier a laissés de ses observations anatomiques ;
- passer par le principe du jeu des sept erreurs pour aborder l'anatomie comparée.

le décalage
entre l'objectif
scientifique et
le processus
interactif ouvre
des espaces
ludiques et
d'interprétation
plus grands

Le fait que l'objectif scientifique ne coïncide pas parfaitement avec le processus interactif a laissé une marge de manœuvre beaucoup plus grande entre des objectifs de contenu et les possibilités de l'informatique. Tout en respectant la vérité historique (l'éléphant de la deuxième séquence est le premier animal présenté par Cuvier à l'Institut...), l'informaticien pouvait laisser libre cours à son envie d'exploiter les possibilités d'un **modèle** qui permettrait aux visiteurs de composer des animaux éventuellement imaginaires. Effectivement les choix multiples offerts d'interaction sur

l'imaginaire,
un vecteur
d'interprétation
puissant

l'image laissent chez les visiteurs la forte impression de l'existence d'une démarche scientifique, et ouvrent la possibilité d'une interprétation où l'imaginaire joue un rôle majeur.

L'imaginaire intervient à plusieurs niveaux. Il concerne l'image elle-même. Il est particulièrement puissant lorsque, les repères d'échelles et d'aspect extérieur (les ossements et squelettes sont des visions internes) étant absents, il s'agit de donner un sens à des images globales. Entre ce que l'on voit et l'idée de ce que c'est, les critères scientifiques faisant défaut, c'est alors l'affectif qui parle. C'est : fin, élané, agressif, trop gros... Et cette projection de caractères est plus importante pour les animaux que pour les plantes.

Il intervient aussi dans l'interprétation de l'activité proposée. À travers l'analyse d'un jeu interactif particulier utilisant l'image, c'est tout le problème – et sa richesse – de cette liaison entre l'activité effectuée par le visiteur, et l'activité scientifique imaginée, qui est posé. Il pourrait s'agir là d'une "entrée" particulièrement fructueuse pour l'analyse et la caractérisation de l'interactivité (qui devient, dans cette perspective, une "activité" particulière du visiteur).

Joëlle LE MAREC
Cellule "Évaluation" de la
Cité des Sciences et de l'Industrie
Martine SCRIVE
GHDSO, Université Paris XI,
Centre d'Orsay