

Les techniques de traitement numérique des images en appui à l'amélioration du rapport épistémologique des élèves au vivant

Hassen Reda Dahmani¹, IJsbrand M. Kramer² et Nadia Chérif³

^{1,3} LDS (Laboratoire de Recherches en Didactique des Sciences), ENS Kouba, 16050, Alger, Algérie

² IECB (Institut Européen de Chimie et Biologie), UMS3033/US001, Université de Bordeaux, 33607 Pessac, France

Résumé. Amener les élèves à interagir avec les images scientifiques pour qu'ils prennent conscience du caractère construit de toute représentation sémiotique du vivant est le but de cette étude. Avec l'arrivée du tout numérique qui a suppléé avantageusement l'image papier dans la représentation iconographique du vivant, de nouvelles façons de faire façonnent les pratiques scolaires. Le cycle du secondaire a intégré depuis près de deux décades l'utilisation d'images virtuelles de type infographique qui représentent des caractéristiques du vivant mais reconstituées ou créées de toute pièce. Malgré leur fort degré de suggestion, ces images offrent aux élèves des possibilités d'interactions limitées. A contrario, traiter numériquement des images « réelles » du vivant (telles que les microphotographies cellulaires) à l'aide de logiciels spécialisés, permet à l'élève de s'exercer aux procédures techniques d'amélioration du rendu de ces images et lui permet ainsi de mieux saisir la fonction des images scientifiques qui n'est pas celle de « montrer » mais celle d'outiller la réflexion. L'autre enjeu dépasse le cadre strict de la compréhension de l'imagerie biologique, c'est celui d'inculquer aux élèves une culture visuelle préalable à l'émergence d'une forme de vigilance épistémologique face à la représentation de toute chose.

Exposure to digital image processing techniques may improve students' epistemological relationship to living organisms

Abstract. This study puts forward that students may become aware of the constructed nature of semiotic representation of the living by letting them interact with scientific images. With the occurrence of the all-digital graphical representations, new approaches in dealing with representations of living organisms have been introduced in school practices. Computer-constructed images, which range from the representations of macromolecules to creating artificial colors in images of cells or small organisms, provide strong suggestive power to the point that they may fully distort ideas about what living material really looks like. In order to make students aware of the possible distorting effects of image processing, they could participate in this process themselves *i.e.* starting from "natural" colored photographs or black and white micrographs and "bring to life"

different aspects of that image. The image-enhancing activity not only makes them aware of the power of representation but it also provides a valuable opportunity to think about: the matter they are processing; what are cells or organelles; how many are there; what is their relative size, etc. Digital image-processing instills students with visual knowledge and serves as a basis to construct an epistemological “vigilance” towards representations in general.

1 Introduction

Les images sont des outils essentiels pour la compréhension des concepts car elles peuvent, sous certaines conditions, rendre intelligibles et sensibles l'existence d'entités ou de composants du vivant inaccessibles à l'œil nu ou à l'œil instrumenté. Les images numériques, par un effet de concrétisation particulièrement efficace et en raison de leur caractère manipulable, ont cette spécificité de décliner le vivant sous des représentations plus ou moins objectives (comme les microphotographies) ou artificiellement reconstituées (images infographiques). C'est ainsi que des logiciels de visualisation et de simulation ont spécialement été mis à la portée des élèves des cycles antérieurs à l'université afin de libérer l'image du carcan qui a enfermé pendant longtemps les réalités du vivant dans des représentations sur support papier, figées et planes. La coexistence entre images fixes (celles qui jalonnent les plages scripto-visuelles des manuels scolaires, les tirés à part et photocopiés des enseignants et les sujets d'évaluation) et images numériques (stockées sous forme binaire sur supports informatiques tels que bases de données, logiciels, etc.) a pour avantage de proposer aux apprenants des représentations variées et complémentaires. Mais cette diversité iconographique et d'emploi des images scientifiques nous fait poser la question de la manière dont elle est appréhendée par les élèves. Notamment si cette diversité ne renvoie pas aux élèves des conceptions inappropriées à propos de la nature du vivant. Une posture critique et un recul vis-à-vis de toute représentation du vivant est nécessaire à faire acquérir aux élèves pour que ces derniers puissent se forger une idée du vivant plus conforme au concept et moins dépendante des images.

2 Problématique

2.1 Les enjeux du travail sur les images

Dans cette étude, c'est la question du sens porté par les représentations iconographiques qui est posée. C'est une question primordiale car le sens qu'un destinataire élabore à travers un support figuratif ou graphique n'est jamais facile à susciter auprès du destinataire en absence de connaissances partagées et si la réception du message se fait de manière passive. La méconnaissance des clés de construction d'une image est également source de difficulté pour son interprétation. Ce qui explique souvent la lecture polysémique d'une image. Cette lecture offre de nombreux inconvénients sous le rapport de la rigueur, de la précision et de la clarté indispensables dans toutes formes de communication scientifique. Barthes (1964) 1 indique cependant que cette polysémie est productrice d'une interrogation sur le sens. C'est en partie à cette interrogation que notre présent travail fera référence.

Dans la pratique pédagogique, l'exploitation des images scientifiques pose de sérieux problèmes car dans ce cas particulièrement, ces images sont censées guider, faciliter ou induire l'apprentissage. Notons, à titre d'exemple certaines difficultés à décrypter les documents figuratifs ou graphiques en biologie : difficulté à identifier l'échelle de grandeur, à situer le niveau d'organisation de la matière vivante (niveau atomique, moléculaire ou cellulaire), à comprendre le statut des couleurs et l'utilisation des fausses couleurs, à imaginer le dynamisme de certains phénomènes à travers des images fixes, à imaginer des dispositions spatiales d'objets déclinés sous la forme de représentations planes, etc. De même, il est également difficile pour un élève de produire du sens à travers un dessin ou un schéma qu'on lui demanderait de réaliser.

Nous adhérons à l'idée que le travail sur l'image peut permettre à l'élève de comprendre les notions enseignées, d'apprendre à représenter ce qu'il a assimilé et à le communiquer aux autres, à accroître son engagement et à raisonner avec une certaine efficacité (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011) 2. Mais cela nécessite que l'élève acquière au préalable la vigilance nécessaire vis à vis de toute représentation y compris celle à visée artistique ou à visée publicitaire. D'où une certaine éducation à l'image qu'il est nécessaire de donner aux élèves et qui consistera fondamentalement à limiter les lectures imprévisibles.

Notre préoccupation va donc au-delà de l'acquisition des savoirs scientifiques et touche aussi à la question de l'acquisition d'un des fondements de l'esprit scientifique et du comportement citoyen : l'esprit critique. Et la première condition de l'acquisition d'une telle compétence est que les élèves puissent distinguer entre une image acquise directement à partir du réel, c'est-à-dire à partir des tissus vivants, et une image artificielle qui en réfère seulement.

2.2 Caractéristiques de l'imagerie numérique et conséquences épistémologiques

Concernant précisément les représentations iconiques à visée scientifique, les images numériques sont les plus sollicitées pour restituer une forme de complétude de l'objet étudié. C'est le cas des images infographiques et notamment les images de synthèse qui, par le fait de l'apport des logiciels graphiques sont « de pures créations de l'homme » (Segura, 1996) 3. Certes, la bioinformatique a élargi le champ de l'investigation du vivant à tous les niveaux d'intégration et ce, par la numérisation et la simulation, mais il en découle une iconographie à la puissance suggestive redoutable où il n'est pas toujours facile de « distinguer si une image est représentation d'une réalité ou bien résultat d'un traitement numérique et modélisation » (Coquidé, 2008) 4 et surtout de pouvoir établir une « correspondance entre ce qui est visualisé et son implication dans un processus du vivant » (Laszlo, 2002) 5. Ceci peut induire de possibles risques de confusion, d'ambiguïtés et de contresens chez le lecteur à propos de la nature réelle du vivant.

Pour le cas des molécules biologiques par exemple, les images infographiques de celles-ci sont des reconstitutions artificielles, voire « aseptisées » du réel. Elles sont en effet reconstruites à partir de coordonnées atomiques contenues dans les banques de données internationales (telle la Protein Data Bank) et des logiciels sont conçus pour permettre d'affecter diverses représentations conventionnelles aux molécules qui peuvent ainsi être étudiées *in silico*¹.

Une autre modalité d'étude du vivant (celle que nous prenons en compte dans cette recherche) concerne les images numériques brutes, ou images sources², « acquises » directement à partir du vivant. Elles sont obtenues par microscopie optique ou électronique ou par résonance magnétique nucléaire (RMN) ou par le biais d'un scanner ou tout simplement par un appareil photo. Une fois acquises, ces images peuvent être traitées par des outils graphiques et transformées en valeurs informatiques. Elles sont ainsi exploitables par des processeurs qui peuvent conduire au traitement de l'image à l'échelle du pixel, ou si besoin est, à l'échelle du pixel 3D (voxel). Le traitement numérique de ces images brutes a pour but d'en améliorer le rendu et ce, à des fins d'interprétation.

C'est ainsi qu'à travers ces deux modalités, l'image « créée » ou l'image « acquise », l'imagerie numérique, de part son caractère manipulable, va introduire une rupture radicale dans la représentation du vivant puisqu'on va « pouvoir modifier dans ses moindres détails une image enregistrée ou en produire une sans prise de vue » (Dagognet, 1984) 6.

Ainsi, un nouveau statut épistémologique de l'image scientifique se profile. D'images « qui donnent à voir des "curiosités" » (Panese, 1996) 7 ou de moyens de transmettre un savoir, l'image devient un nouveau savoir à transmettre puisque considérée dorénavant comme « une connaissance

¹ A côté des traditionnelles méthodes de la biologie, *in vivo* et *in vitro*, de nouvelles formes d'expérimentation et d'analyse dites « *in silico* » (c'est-à-dire au moyen de calculs complexes informatisés ou de modèles informatiques) constituent actuellement des pratiques majoritaires. A titre d'exemple, les chercheurs ont pu explorer informatiquement la différence entre les génomes du chimpanzé et de l'homme sans aucune « expérience de paillasse ».

² Une image source est la première dans l'ordre chronologique de production des images.

scientifique à part entière » (Laszlo, 2002) 5. D'où la nécessité de poursuivre des recherches approfondies et multidirectionnelles sur l'image numérique pour identifier plus précisément « les conditions-didactiques et cognitives indispensables pour la transformer en connaissance » (Mottet, 1996) 8.

2.3 Une question de transposition spécifique de savoirs par l'image numérique

La visualisation des phénomènes biologiques « modélisés avec un fort degré de formalisation » (Monod, Ansaldi, Molinatti, Fontanieu, Devallois & Sanchez, 2012) 9 permet d'intégrer les notions de manipulation et d'interactivité. C'est ainsi qu'avec l'apport du numérique, les images sont devenues « des objets autonomes, permettant l'observation et l'expérience et bénéficiant dès lors d'une efficacité dans l'élaboration des savoirs scientifiques » (Sicard, 2010) 10. Avec comme ambition de permettre un renouvellement de l'enseignement des sciences, les institutions éducatives essayent d'exploiter cela pour favoriser chez les élèves un meilleur apprentissage de la biologie. La mise en pratique des activités de manipulation des images numériques à travers des dispositifs qui favorisent l'interactivité date d'un peu plus de deux décades dans les lycées français.

Avec l'intégration de la bioinformatique, il était attendu des enseignants qu'ils fassent accéder les élèves à une nouvelle façon d'analyser le vivant. L'une des toutes premières attentes qui devait découler de l'utilisation de logiciels de visualisation dynamique et de simulation³ au lycée était celle d'amener les élèves à s'affranchir de la vision statique et plane de la matière que le support papier impose. Puis, il est vrai que ces logiciels constituent aussi une instrumentation qui permet aux élèves de réaliser des activités proches de celles de l'investigation scientifique. Elles peuvent, sur des thématiques nouvelles, les entraîner au raisonnement scientifique et à la modélisation des phénomènes biologiques. Ceci dans le but de satisfaire l'objectif que l'éducation scientifique s'emploie à réaliser dans les faits, celui d'amener les élèves à « comprendre le travail des scientifiques » (Hasni, Lenoir & Lebeaume, 2006) 11. C'est donc par le transfert des outils de la recherche vers l'enseignement des Sciences de la vie et de la terre que les programmes d'enseignement ont intégré en même temps une partie des connaissances et des démarches propres à la recherche.

Il est remarquable de constater que depuis la transposition⁴ des images numériques dans le domaine scolaire, les élèves sont de fait positionnés comme de potentiels consom'acteurs⁵ d'images. Nos premiers travaux ont montré que les images infographiques étaient de véritables « images/outils » et suscitaient chez les étudiants un certain engouement à explorer et comprendre comment fonctionne un organisme, une cellule, une protéine, etc. (Dahmani, Schneeberger & Kramer, 2009 ; Kramer, Dahmani, Delouche, Bidabe & Schneeberger, 2012) 12 13. Ces images permettent de faire construire une représentation plus opératoire du vivant en incluant les dimensions spatiales, temporelles et de dynamisme. Mais par leur esthétique et force de suggestion, ces images peuvent aussi donner aux élèves l'impression qu'elles sont le reflet fidèle d'une connaissance scientifique stabilisée. Les incertitudes, ambiguïtés ou limites des données sont souvent gommées dans ces images. D'où un risque de déformation de la réalité du vivant dans l'esprit des élèves.

³ Comme le logiciel Rastop pour le cas de la visualisation des molécules biologiques.

⁴ « Transposition » au sens Chevallardien du terme. Au même titre que ce que postulait Chevallard à propos de la théorie de la transposition didactique qui permettait de distinguer les savoirs savants produits, les savoirs à enseigner qui sont définis par le système scolaire, le savoir enseigné par le professeur et enfin le savoir appris par les élèves, nous reprenons à notre compte cette idée en l'appliquant aux images (qui constituent aussi des savoirs à proprement parler [voir chapitre 2.2]) : depuis celles qui sont produites par les chercheurs pour leurs besoins propres, à celles qui sont choisies par le système scolaire (à travers les manuels, les programmes, les types de logiciels qui sont recommandés...), puis aux images sélectionnées par l'enseignant et enfin à celles que l'élève va pouvoir garder en mémoire pour assimiler les connaissances.

⁵ Nous reprenons à notre compte la notion de consomm'acteur que nous empruntons au vocabulaire propre au domaine du « développement durable ».

2.4 Le traitement numérique des images et sa contribution à l'éducation des élèves aux images scientifiques

Si dans la sphère scolaire il est question de faire acquérir aux élèves des savoirs scientifiques et certaines techniques à travers l'usage de nombreuses représentations figuratives ou graphiques, le maillon épistémologique qui concerne l'éducation des élèves aux images ne semble pas faire l'objet d'un apprentissage spécifique et systématique. Notre contribution à la réflexion autour de cet aspect fondamental dans la formation de l'esprit scientifique et critique de l'élève est celle de rechercher les activités didactiques et pédagogiques qui concourent à participer à l'éducation des élèves aux documents visuelles. Mais une éducation intégrée à de réelles problématiques scientifiques et avec de « réelles » images du vivant. Ce n'est que de cette manière que les images utilisées dans l'enseignement de la biologie pourraient devenir « un véritable outil d'apprentissage, une technologie intellectuelle » (Peraya, 1995)¹⁴.

Les textes officiels de l'Education en France, à titre d'exemple, recommandent aux enseignants de « travailler la fonction des images dans la construction des connaissances ». Mais pour arriver à cette dimension du rôle des images, les élèves doivent au préalable être sensibilisés au fait de l'impossibilité de celles-ci à représenter fidèlement et littéralement des réalités inappréciables et inaccessibles par les sens. Ces images sont toujours fondées sur un modèle et donc la première conséquence impose que « le modèle soit explicité et connu des élèves » (Richoux, Salyetat & Beaufils, 2002) ¹⁵. Or, dans le contexte de l'enseignement, il est possible de constater que l'on continue encore à s'attacher beaucoup plus au produit (l'image) qu'au processus qui y a conduit et au modèle sous-jacent qui lui a donné forme. Il est « fréquent de considérer que le fait de « voir » aide à comprendre, à la condition que ce qui est montré ait un fort caractère de ressemblance avec l'objet d'étude » (Dahmani & Schneeberger, 2008) ¹⁶.

En effet, dans les livres et manuels et dans certaines pratiques enseignantes, les images sont souvent utilisées pour faire preuve par la vue. Mais, prenons le cas de la figure 1, un observateur novice aurait du mal à distinguer entre une vraie cellule d'algues et un autre objet de l'image qui s'apparenterait.

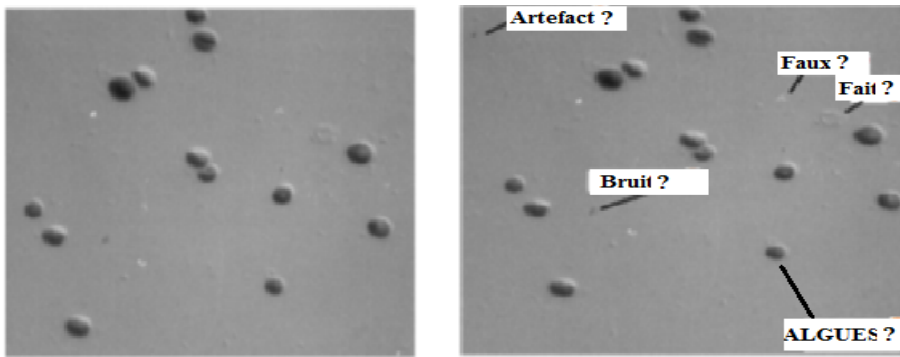


Figure 1. A gauche, image au microscope de cellules d'algues (Glasbey & Horgan, 1994) [16]. L'objectif des auteurs de l'image était d'identifier, de compter et de mesurer les cellules par le biais d'un logiciel de traitement numérique d'images. A droite, les possibles interrogations d'un observateur novice.

Il nous paraît fondamental alors que le lien entre « représentation » et « concept » soit véritablement établi et discuté en classe. La question de savoir comment un chercheur construit des connaissances à propos du cerveau humain à partir de l'analyse d'une image de cerveau en est un exemple. Les réactions des élèves à propos de la figure 2 ci-dessous, montrent que préexiste dans leur raisonnement des ébauches d'approche critique sur lesquels l'enseignant pourrait s'appuyer pour développer chez eux une approche critique plus élaborée. Nous présentons ci-dessous les différentes réflexions que des élèves de 13-14 ans de collège en Algérie (élèves qui passeront leur brevet pour

accéder en classe de seconde de lycée) ont exprimées à propos d'une IRMf (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) de cerveau humain.

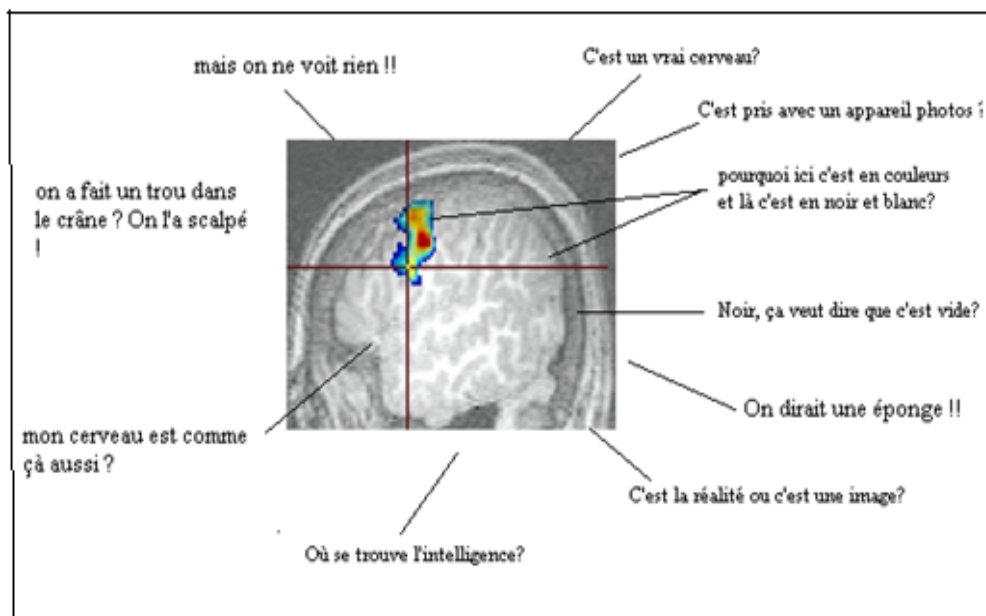


Figure 2. Réflexions d'élèves de 13-14 ans à propos d'une image du cerveau humain choisie à partir de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf).

Ainsi, il apparaît clairement que ces élèves ont des questions pertinentes qui relèvent paradoxalement des limites de leur faculté d'analyse correspondant à leur âge mental mais aussi aux difficultés à comprendre comment une image est produite. D'où l'importance qu'il y a à travailler avec les élèves le statut et les fonctions de ce type d'image en se basant sur leurs propres questionnement.

Une autre façon de permettre aux élèves de mieux comprendre les images scientifiques est celle de les amener à en produire. Les techniques de traitement numérique d'images du vivant constituent à notre sens un moyen de permettre à l'élève de produire de nouvelles images à partir d'images brutes (ou sources) déjà disponibles dans la littérature scolaire et les banques de données pédagogiques. En effet, savoir traiter numériquement de telles images permet de comprendre ce qu'est une image. « La difficulté sera alors d'en faire produire » (Le Crosnier, 2004)17.

Décrivons alors ce que représente le traitement d'images. C'est une discipline qui étudie les images numériques et leurs transformations, dont l'objectif est l'amélioration du rendu des images en vue d'en extraire de l'information (Glasbey & Horgan, 1994) 18⁶. Le traitement s'applique aussi bien à des images de nature numérique qu'à des images de nature analogique et qui sont préalablement numérisées en vue de leur traitement par des logiciels spécifiques.

⁶ Autres références recommandées par l'organisateur de l'atelier, Boudier T. (UPMC, Université Paris 6). Atelier qui sera décrit au chapitre 4 (http://www.snv.jussieu.fr/~wboudier/ens/cours/cours-mec-image_numerique.pdf) :

- Image Analysis For The Biological Sciences, Glasbey, Wiley & Sons, 1994. (disponible online) <http://www.bioss.ac.uk/staff/chris.html>
- The Image Processing Handbook, Russ, CRC Press, 1992.
- Introduction au traitement d'image, Diane Lingrand, Vuibert, 2004.
- Digital Image Processing using Java, Burger & Burge, Springer 2007.

Toute méthode de traitement d'images⁷ comprend quatre étapes majeures⁸ :

- Prétraiter l'image en réduisant des éléments parasites dus à l'étape d'acquisition elle-même.
- Améliorer l'image en jouant sur le contraste par exemple ou en éliminant certaines anomalies contenues dans l'image (artéfacts, bruits) et en rehaussant d'autres aspects jugés intéressants pour l'étude.
- Analyser l'image en réalisant une extraction et la mesure de certaines caractéristiques de l'image traitée (taille, niveau de gris, forme, position, dimension et orientation des objets présents dans l'image).
- Interpréter l'image en prévision d'une prise de décision. Il s'agit de donner du « sens » à l'image en repérant des objets d'étude qui vont être analysés en utilisant les informations connues sur ces objets. L'analyse permet de répondre à la question posée. Ainsi, il peut être établi par exemple qu'un ensemble connexe de pixels de l'image de la figure 1 est une « cellule d'algues ».

Comme nous pouvons le prédire, la manipulation d'une image par la technique de traitement numérique va impliquer plus fortement et efficacement la réflexion et l'esprit d'initiative du sujet. Celui-ci doit opérer des choix et expérimenter diverses fonctionnalités du logiciel de traitement pour tenter d'améliorer le rendu de l'image. Cette activité sur l'image peut permettre l'accès à des informations qui n'apparaissent pas d'emblée lors d'une lecture au premier degré d'une image. D'où l'intérêt que revêt l'interaction sujet-image qu'autorise le traitement numérique.

Ainsi, le traitement numérique, sous certaines conditions à définir, constituerait un champ exploitable pour les besoins de l'éducation des élèves à l'image scientifique. Faire produire par les élèves des images retravaillées à partir d'images biologiques « réelles » (telles que celle des figures 1 ou 2) serait susceptible de leur faire ressentir, d'une part, la difficulté à traiter une image, et d'autre part, la difficulté à l'interpréter. Cela ne manquera pas de leur apporter une plus-value en termes d'attitude de distanciation, de recul, vis-à-vis de toute représentation iconographique du vivant. Attitude que nous jugeons déterminante pour une appropriation correcte du contenu des images scientifiques. La transposition en classe de versions adaptées de cette technique serait à même de minorer chez les élèves, la persistance d'idées fausses à propos de la représentation du vivant et du vivant lui-même. Finalement, la question que nous posons porte moins sur comment les images peuvent reproduire toute la complexité du vivant que sur « comment l'image peut jouer un rôle en tant qu'outil de structuration cognitive ? » (Mottet, 1996) 8.

Ainsi, de nombreux arguments peuvent plaider pour l'intégration du traitement numérique vers la fin du cycle de l'enseignement secondaire, pour les filières scientifiques et technologiques et sans négliger les filières littéraires puisque notre propos concerne aussi le volet « éducation à l'image » et « acquisition de l'esprit scientifique et de l'esprit critique ».

3 Questions de recherche

Nous sommes partis du constat qu'une image en biologie n'est pas toujours facile à saisir notamment lorsqu'il s'agit de la représentation du vivant dans ses dimensions microscopiques. Nous posons la question de savoir ce qui est requis de la part des sujets pour que ceux-ci puissent être en mesure d'interpréter de tels contenus iconographiques. Est-ce suffisant que l'apprenant sache mobiliser les savoirs scientifiques adéquats pour décrypter l'image représentant l'objet étudié ? Et cette capacité ne serait-elle pas tributaire et dépendante aussi de la posture de vigilance dont l'apprenant doit se prévaloir vis-à-vis de toute représentation du vivant ?

En rapport avec ce deuxième questionnement, nous pensons qu'acquérir cette posture de vigilance requiert de l'élève qu'il puisse au préalable « questionner » l'image. Ce serait l'une des conditions de

⁷ Nous parlerons indifféremment de traitement numérique d'images ou de traitement d'images numériques.

⁸ http://www.cesbio.ups-tlse.fr/data_all/pdf/TI08.pdf.

son appropriation par le sujet. Dans ce même ordre d'idées et selon Minsky, cité par Miquel (2008) 19, cette appropriation « n'est pas relatif[ve] à un observateur passif, sans dynamique cognitive propre, puisqu'il est relatif à lui en tant que cet observateur se pose activement des questions sur l'objet ou qu'il déploie des pratiques en référence à lui » (Miquel, 2008, p.268) [19]. D'où nécessité d'interaction avec l'image et non de « contemplation ». Nous reprendrons cette idée comme hypothèse de travail que nous essayerons d'éprouver dans notre étude.

En somme, saisir le contenu d'une image scientifique requiert de la part de l'interprétant de posséder, d'une part, les informations scientifiques de base à propos de l'objet d'étude (par exemple, pour l'image d'une cellule vivante, il est nécessaire que l'observateur ait au préalable au moins une idée sur sa dimension, sa localisation dans l'organisme, etc.). C'est l'axe sémio-cognitif. Puis de posséder une culture technique minimale par rapport à la production d'images scientifiques (savoir par exemple préparer un échantillon et savoir manipuler certains outils et appareils de recueil d'images de celui-ci, etc.). C'est l'axe technique. Et d'autre part, de pouvoir exercer en permanence une forme de vigilance vis à vis des images du vivant qui sont par essence des représentations parcellaires de réalités complexes et qui ont un pouvoir descriptif et explicatif limité. C'est l'axe psychologique et épistémologique auquel nous nous intéressons particulièrement dans cette étude.

C'est donc sur ce triptyque « savoir/ savoir-faire/ posture » que résiderait à notre sens la réussite de toute activité de décryptage des images scientifiques. Nous nous intéresserons dans cette étude à la troisième exigence, c'est-à-dire à cette attitude critique dont doit se prévaloir l'élève pour faire une lecture raisonnée des images, ainsi qu'à l'impératif de la présence d'un savoir-faire technique qui permet de l'exercer.

4 Méthodologie

Dans la présente étude, nous avons analysé des réponses à un questionnaire distribué à des étudiants universitaires à la fin d'une formation de cinq jours au traitement numérique d'images biologiques. Au cours de l'atelier⁹, les chercheurs-concepteurs et animateurs avaient confrontés les étudiants à différents types d'images brutes ou élaborées (de molécules, d'organites, de cerveaux, etc.). En effet, deux types d'images ont fait l'objet de traitement numérique :

- des photographies ou microphotographies brutes correspondant à une pratique scientifique de recueil et d'enregistrement de données dans le cadre d'une observation ou d'une expérimentation,
- des photographies déjà travaillées ou arrangées (en aval ou en amont).

L'échantillon analysé est constitué des dix (10) étudiants en biologie qui ont participé à l'atelier. Ce groupe dont la moyenne d'âge est estimée à 25 ans est constitué d'étudiants venant de différentes universités de la région parisienne et ayant un niveau d'étude allant de Bac+4 à doctorants et avec comme perspective professionnelle de réaliser un parcours recherche. Trois étudiants disent avoir été initiés au traitement d'images numériques (que nous symboliserons par l'abréviation TIN).

Cette étude de cas concerne l'analyse de réponses d'étudiants très motivés pour lesquels l'acquisition d'un savoir-faire technique (traitement numérique d'images biologiques) constituait un enjeu de formation important pour leur parcours de recherche.

Nous avons assisté à l'atelier comme participant et informé les étudiants, lors des présentations en début d'atelier, de notre préoccupation de recherche en didactique de la biologie portant sur l'analyse de l'impact de l'iconographie scientifique sur l'apprentissage de la biologie. Notre tâche était double: participer à l'atelier proprement dit, en tant qu'observateur novice en matière de traitement numérique, et en même temps analyser la manière dont les participants ont interagi au cours de celui-ci. Cela nous a permis de confectionner le questionnaire au fur et à mesure du déroulement de l'atelier. Les étudiants n'ont été informés de la distribution de celui-ci qu'à l'issue de la formation¹⁰.

⁹ Atelier de formation intitulé : « *L'Imagerie Numérique en Biologie I : Outils et Méthodes*-UPMC-Paris 6 » <http://www.snv.jussieu.fr/~wboudier/ens/PlanningINB1.html>.

¹⁰ Nous remercions les chercheurs-animateurs de cet atelier, Boudier T. et Andrey P. (UPMC, Université Paris 6), de nous avoir permis d'assister à l'atelier et de distribuer le questionnaire.

Ce questionnaire avait pour objectif d'identifier si un changement de conceptions et d'attitudes des étudiants envers les images scientifiques s'était opéré par rapport à leurs conceptions d'avant atelier. Nous en avons tiré par la suite les enseignements sur la pertinence d'envisager la réalisation d'une telle activité de traitement d'images auprès d'élèves de fin de cycle du secondaire.

Les questions présentées aux étudiants (voir en annexe) s'articulent autour de trois axes. Un premier axe qui concerne le volet scientifique et technique et qui consiste à les interroger sur la manière dont ils se sont approprié le procédé de traitement. Un deuxième axe qui porte sur le volet didactique consiste à recueillir les avis des étudiants à propos du rôle et des limites des outils de traitement mobilisés lors de l'atelier. Enfin, le troisième axe, qui porte sur des questions en rapport avec la dimension épistémologique, devait permettre d'identifier si un changement d'attitude des participants vis-à-vis du statut des images scientifiques s'était opéré.

5 Résultats et commentaires¹¹

En premier lieu, il est à noter que les étudiants interrogés déclarent majoritairement que le traitement numérique d'une image (TIN) permet d'apporter « une meilleure visualisation » et se caractériserait par « une meilleure exploitation des résultats » et par la « rapidité » d'obtention de ceux-ci. Il constitue selon l'un d'eux une « alternative possible » (sans donner plus de précision). Pour un autre, le TIN permet de « pallier aux insuffisances de l'expérimentation » faisant probablement allusion à la limite de résolution des appareillages d'acquisition (microscopes, RMN...).

Le recours au traitement d'images conduirait à « l'amélioration de l'analyse de l'image scientifique » en permettant « la mise en évidence de données cachées » et pour l'un des étudiants, en « révélant des données » et en « les quantifiant ». Le traitement pourrait permettre aussi de « soustraire », « d'éliminer des éléments superflus » ou « des données non concernés par l'étude » et pourrait même, pour trois étudiants, « transformer », voire « créer » des données.

La « qualité de départ » de l'image est cependant jugée primordiale pour la réussite du traitement numérique et il est considéré unanimement que l'image après traitement ne doit pas nécessairement garder un haut degré de ressemblance avec l'image de départ. Le traitement numérique n'est cependant pas considéré comme une opération de lifting ou de pure cosmétique car pour l'ensemble des étudiants interrogés « en sciences, l'esthétique n'est pas un gage de la qualité de l'analyse ». L'essentiel est « d'extraire des informations ».

Mais deux étudiants s'inquiètent du fait de « trop modifier les données de départ », avec le risque de perte de sens, voire de « falsification des résultats scientifiques ». Pour cela, et pour la majorité des étudiants, celui qui doit traiter l'image doit être celui qui a produit l'image car si ce n'est pas le cas, certains étudiants affirment que le problème sera alors « d'ignorer les possibles travers dus à l'étape d'échantillonnage et d'acquisition » car « un ensemble de paramètres à l'acquisition n'est connu que du seul opérateur de la prise de vue ». Ainsi, d'après ces étudiants, si celui qui a obtenu l'image est aussi celui qui traite numériquement l'image, il saura alors « ce que représente l'image et quel élément il veut faire ressortir », « il saura peut-être mieux ce que l'on doit trouver et où chercher » et « ce qu'il faut montrer ». On « connaît ainsi plus facilement les limites de ce qui peut être analysé ».

Nous pouvons, grâce au recoupement des réponses des étudiants, définir les différents inconvénients que ceux-ci imputent au traitement numérique. Ils sont de trois ordres :

- Problèmes d'ordre technique comme « les difficultés d'utilisation et de prise en main du logiciel » et l'apparition de « problèmes techniques » au cours de l'application de certains traitements. De plus, le vocabulaire technique est considéré aussi comme un obstacle pour la moitié des étudiants interrogés. Une « familiarisation » et une meilleure connaissance de ce que chaque fonctionnalité permet concrètement de réaliser lèveraient cet obstacle selon eux.

¹¹ Notre analyse concerne surtout les aspects qualitatifs des réponses des étudiants au questionnaire. Les réponses des étudiants sont mises entre guillemets dans le texte.

- Problèmes liés au manipulateur : d'après les étudiants, celui-ci pourrait se rendre coupable de « dérives d'interprétation », de « subjectivité ». Ainsi, certains étudiants notent les possibles « biais induits par l'expérimentateur ».
- Problèmes inhérents au traitement numérique lui-même, notamment lorsqu'il y a une « trop grande manipulation des images », ce qui peut « masquer l'aspect initial des structures à observer », d'où une possible « perte d'informations ».

Par ailleurs, nous constatons une certaine difficulté chez les étudiants à établir un distinguo nette à propos des trois vocables suivants, souvent évoqués lors du traitement de l'image numérique : le « bruit »¹², « l'artéfact »¹³, le « défaut »¹⁴ :

- La nature du « bruit » est diversement perçue. Il est considéré comme un « signal qui ne provient pas de l'échantillon ». Il s'agirait d'une « modification de l'image occasionnée lors de l'acquisition de l'objet », un « parasite non lié à l'objet ». Des conséquences sont avancées : le bruit pourrait induire une « modification des niveaux de gris sur l'ensemble de l'image » générant des pixels qui « gênent la visualisation de l'objet » en « perturbant l'image ». Ainsi, le bruit « doit être atténué pour obtenir des infos », « il ne doit pas être pris en compte dans les résultats ». Pour l'un des étudiants, le bruit pourrait être une partie de l'image, par exemple « le fond » dans lequel baignent des cellules.
- Quant à « l'artéfact », celui-ci est considéré comme un « élément non représentatif de la réalité ». C'est « un objet qu'on voit mais qui n'existe pas dans la réalité ». Il est « induit par un problème lors de l'acquisition (problème dû à la fluorescence ou au microscope par exemple) ». C'est « l'affichage de quelque chose non existante sur l'échantillon ». Pour un autre étudiant, l'artéfact est un « petit bruit ponctuel qui n'affecte pas toute l'image ». C'est aussi « le signe caractéristique d'une perturbation ».
- Enfin, le « défaut » est quant à lui qualifié par un étudiant « d'élément jugé non-conforme face à une « culture d'analyse ». Le défaut est assimilé à « une erreur induite par une fausse manipulation du logiciel », ou à « une erreur due à un dysfonctionnement de l'appareil d'acquisition ». Les étudiants pensent qu'il s'agit en tout cas « d'un objet différent des autres », « quelque chose qui a été créé » et qui « n'existe pas dans l'échantillon » et qui est « produit par le traitement ».

Concernant maintenant le mot « image », celui-ci ne revêt pas la même signification pour tous les étudiants. Plusieurs vocables sont proposés comme termes de substitution et il y a presque autant d'étudiants que de propositions formulées : « Data », « iconographie », « photo », « impression », « acquisition », « échantillon », « représentation », « objet ». A la question de savoir si un histogramme était une image, la moitié des étudiants interrogés ne reconnaît pas à l'histogramme le statut « d'image » en raison du fait, d'après eux, qu'il englobe des « données chiffrées » ou des « datas numériques ». Pour les autres, il s'agit bien d'une image puisque c'est une « représentation », une « traduction », une « interprétation » qui rend une information « visible ».

Enfin, les avis sont partagés concernant la différence entre le traitement et l'analyse d'une image d'un objet familier (ou macroscopique) et celle d'un objet microscopique. Pour certains, la difficulté de l'analyse de l'image est conditionnée par « la seule difficulté de la question posée », et que « tout dépend de l'info que l'on veut traiter ». Pour l'un des étudiants « seules les images d'objets microscopiques sont concernées par le traitement numérique ». Le traitement permettra « d'améliorer

¹² Le bruit est la présence d'informations parasites qui s'ajoutent de façon aléatoire aux détails de la scène photographiée numériquement. Il a pour conséquence la perte de netteté dans les détails (https://fr.wikipedia.org/wiki/Bruit_num%C3%A9rique).

¹³ Un artéfact est un effet artificiel. Le terme désigne à l'origine un phénomène créé de toutes pièces par les conditions expérimentales, un effet indésirable, un parasite (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Artefact>).

¹⁴ Le défaut : nous proposons de définir le défaut dans une image comme ce qui manque à l'image pour mieux la comprendre. Un bruit et un artefact peuvent également être considérés comme des défauts.

la qualité de l'image » pour en favoriser son analyse. Pour un autre étudiant, « du moment que l'on sait à quoi fait référence l'image », peu importe le niveau de grandeur. Et à la question de savoir quel intérêt il y a à aborder le traitement d'une image à l'échelle du pixel plutôt qu'à l'échelle de l'image toute entière, les étudiants répondent que ce changement d'échelle permet selon eux une « mathématisation », une transformation de l'image « en données statistiques », ce qui donne un meilleur niveau de « précision ».

Enfin, les étudiants disent ne pas avoir de questionnement en suspens à la suite de l'atelier, hormis des questions qui portent sur les aspects techniques comme la « programmation », « l'automatisation », le « gain de temps », la nature des « filtres » à appliquer à telle ou telle image, selon qu'elles sont obtenues par telle ou telle microscope.

6 Interprétation

Le résultat le plus remarquable est que le traitement numérique a permis aux participants de mieux saisir le caractère construit et manipulable des images scientifiques. Ceci dénote de la prise de conscience par ces étudiants que la valeur informative d'une image scientifique peut augmenter lorsqu'elle est traitée et donc qu'une image source n'est pas autosuffisante. Elle nécessite souvent l'application d'un traitement numérique qui peut conduire à « l'épuration » de certains éléments « jugés » *a priori* comme indésirables et au rehaussement d'autres. Cet atelier a bien montré aux étudiants qu'une image est donc une représentation perfectible d'un objet (même si l'objectif de cet atelier n'était pas celui-là). Le seul fait « d'interagir » avec les images en leur appliquant un certain nombre de transformations permet ainsi de sortir de l'image « illustration » et d'aller vers l'image « outil ». L'application judicieuse de telles ou telles fonctionnalités du logiciel de traitement numérique peut permettre la mise en lumière de certains faits cachés, anodins ou discrets de l'image ou d'identifier plus nettement certains autres éléments pertinents pour son analyse.

Par rapport à notre préoccupation de recherche, la réussite du traitement à proprement parler, passait en seconde position par rapport à la posture que cette activité n'a pas manqué de susciter chez nos « expérimentateurs » novices. Les savoirs théoriques dont jouissaient au préalable certains étudiants ne paraissent pas suffisants pour les amener à une exploitation efficace de certaines images. Preuve en est la difficulté qu'ont eue certains à analyser correctement des images alors qu'ils étaient en apparence bien armés du point de vue théorique pour les exploiter. Ils éprouvaient certaines difficultés à appliquer sur des images qu'ils avaient pourtant l'habitude d'analyser dans le cadre de leur propre travail de recherche, les traitements numériques adéquats qui devaient permettre d'en améliorer le rendu. Comme cette étudiante qui fait remarquer à la fin de l'atelier qu'elle n'arrivait toujours pas « à appliquer la technique de traitement à ses propres images ».

Ceci répond par la négative à notre question de recherche. Il n'est en effet pas suffisant que l'observateur sache mobiliser les savoirs scientifiques adéquats pour décrypter une image. Pour que cela devienne possible, il faut que ce savoir théorique soit accompagné non seulement par la présence d'un savoir-faire technique mais aussi par une certaine capacité de jugement, de discernement et de méfiance de l'observateur vis-à-vis de ce qui apparaît sur une image et de ce qui peut faire l'objet d'un type de traitement ou d'un autre.

En effet, même si la subjectivité peut être considérée comme une contrainte pour la réussite du traitement (si par exemple l'étudiant décide d'appliquer une fonctionnalité du logiciel pour éliminer telle ou telle partie de l'image qu'il assimile à tort à un « artefact » ou à un « bruit », puisqu'en apparence il semblerait que les étudiants ne fassent pas une distinction nette entre ces deux vocables), il reste que l'étudiant est néanmoins conscient que cela fait partie de la « règle du jeu » et que c'est l'enjeu même de l'activité de traitement. En effet les étudiants ont bien remarqué que l'imperfection de l'image en amont du traitement peut se voir accentuée en aval par le fait d'un traitement numérique inadéquat dont pourrait se rendre coupable le manipulateur, ce qui occasionnerait une dérive interprétative. Mais même s'il y a erreur dans les choix, ces erreurs sont toujours le produit d'une réflexion et d'une décision de l'étudiant et non une erreur qui survient à son insu. L'étudiant ressent constamment la nécessité de justifier ses choix et décisions en mettant en tension les résultats du

traitement qu'il obtient avec ses connaissances. Résultats qu'il peut toujours remettre en cause si nécessaire (refaire le traitement ou certaines étapes de celui-ci).

Ce changement de posture épistémologique des étudiants est illustré par le fait que ces derniers disent, à l'issue de l'atelier, qu'ils porteraient dorénavant un regard plus critique et attentif envers les images scientifiques. Plusieurs étudiants questionnés disent avoir acquis plus de « recul au regard des traitements imposés aux images des articles scientifiques ». Un étudiant dit porter à présent « un œil plus critique sur la validité des données ». Certains jugent qu'ils comprendront mieux « les détails techniques et auront un regard plus objectif et critique » puisque « toute image peut être modifiée et transformée ».

Mais paradoxalement, bien que les étudiants questionnés reconnaissent le bien-fondé de cette technique pour une meilleure visualisation et exploitation des images scientifiques, une majorité d'entre eux ne pense pas qu'il y ait un intérêt à aborder des notions de traitement d'images dans les cycles d'enseignement avant l'université. La technique leur semble être « très spécifique », « d'un emploi limité » et « réservée à une catégorie professionnelle ». Eux-mêmes disent n'avoir pratiquement jamais eu, au cours de leur scolarité, à analyser une série d'images issues d'un traitement numérique.

7 Conclusion

Est-il possible malgré tout d'envisager l'intégration du traitement numérique des images dans les cycles antérieurs à l'université ? Nous pensons que si le lycée a très tôt intégré l'utilisation des images infographiques dont l'esthétique et la force de suggestion peuvent paradoxalement induire des conceptions inappropriées et incongrues à propos de certaines caractéristiques du vivant, il sera alors possible de mettre à portée des élèves des activités de traitement numérique qui consisteront à « manipuler » de « réelles » images du vivant pour résoudre de véritables problématiques scientifiques. Un traitement numérique basique, exercé sur des images à portée des élèves, réalisé par le biais de versions pédagogiques de logiciels, seraient susceptibles en effet de restituer aux images scientifiques leur juste statut : c'est-à-dire des « re-présentations » nécessairement perfectibles de « réalités » difficilement appréhendables et qui agissent comme intermédiaires et outils de pensée et non comme substituts entre le réel et nous.

Les retombées attendues de l'intégration de ce procédé à la fin du cycle du secondaire est, d'une part, d'amener les élèves à ne pas se contenter des interprétations souvent partielles et non toujours pertinentes issues de la reconnaissance hâtive et superficielle de l'image étudiée. D'autre part, de leur permettre de s'exercer à produire de nouvelles images à partir de la transformation d'images sources tout en « négociant » des significations pouvant avoir valeur de connaissances. Ceci permet de passer de « l'image-désignation » à « l'image-acquisition active de savoirs ». Nous nous attendons par cette intégration à une plus-value certaine en termes d'acquisition par les élèves d'une attitude de prise de distance vis-à-vis de toute représentation iconographique du « réel ».

Ainsi, pointons-nous l'intérêt d'introduire en classe des activités qui permettent aux élèves de mieux cerner les spécificités des images scientifiques de type numérique et les potentialités en termes d'interactivité qu'offrent les techniques du traitement numérique.

Pour cela, nous mettons en exergue l'importance d'une éducation aux images intégrée au sein même de l'enseignement des sciences. En effet, l'apprentissage de l'image est historiquement lié de manière institutionnelle au cours d'Arts plastiques. La classe d'Arts visuels serait le lieu d'apprentissage d'un code que l'élève appliquerait occasionnellement aux autres registres iconographiques liés aux différents savoirs disciplinaires. Mais à partir du moment où les images ne sont plus considérées comme de simples supports d'illustration mais comme de véritables moyens d'élaboration de savoirs et comme objet même de savoir, alors leur analyse devient partie prenante des différents apprentissages disciplinaires.

La prise en compte des spécificités disciplinaires devient ainsi une nécessité. Celle-ci est ressentie par les praticiens (les enseignants) même si elle est rarement exprimée, et les recherches sur ce point devraient donner un fondement théorique aux actions et innovations pédagogiques.

Références

1. R. Barthes, Rhétorique de l'image, *Communications*, **4**, 91-134 (1964).
2. S. Ainsworth, V. Prain, R. Tytler, Drawing to Learn in Science, *Science*, **333** (2011).
3. J. Segura, in R. Coutin, H. Hudrissier, M. V. Locquin, (Éd.), *L'image numérique, nouveau moyen de transmettre le savoir, ou nouveau savoir à transmettre, 118e congrès national des sociétés historiques et scientifiques* (p.229-244) (Editions du CTHS, Pau, 1996).
4. M. Coquidé, Réel, modélisation et simulation dans l'enseignement des sciences de la vie, *Biologie-Géologie*, **2**, 85-96 (2008).
5. P. Laszlo, *L'architecture du vivant* (Flammarion, Paris, 2002).
6. F. Dagognet, *Philosophie de l'image* (Librairie philosophique J. Vrin, Paris, 1984).
7. F. Panese, La part maudite de l'iconographie scientifique, *Espaces Temps*, **62**, 76-89 (1996).
8. G. Mottet. Images et activités scientifiques. Réintégrer l'image, *Aster*, **22** (1996).
9. R. Monod-Ansaldi, G. Molinatti, V. Fontanieu, D. Devallois, E. Sanchez, Tests statistiques et IRM cérébrales en classe de première S, *RDST*, **5**, 159-184 (2012).
10. M. Sicard, Images de l'invisible, *Les grands dossiers des sciences humaines*, **11**, 73 (2008).
11. A. Hasni, Y. Lenoir, J. Lebeaume, *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences*, 263 (PUQ, Québec, 2006).
12. H.R. Dahmani, P. Schneeberger, IJ.M. Kramer, Analysis of students' aptitude to provide meaning to images that represent cellular components at the molecular level, *CBE Life Sci Educ.*, **8** (2009).
13. IJ.M. Kramer, H.R. Dahmani, P. Delouche, M. Bidabe, P. Schneeberger, Education catching up with science; preparing students for 3D literacy in cell biology, *CBE Life Sci Educ.*, **11** (2012).
14. D. Peraya, Vers une théorie des paratextes: images mentales et images matérielles, *Recherches en communication*, **4** (1995).
15. B. Richoux, C. Salvetat, D. Beauvils, Simulation numérique dans l'enseignement de la physique : enjeux, conditions, *BUP*, **96**, 506 (2002).
16. H.R. Dahmani, P. Schneeberger, Typologie des images de molécules et activité de formation, *Colloque Cemaforad* (Strasbourg, 2008).
17. H. Le Crosnier, Place et rôle de l'image dans l'éducation, *BBF*, **2**, 113-114 (2004).
18. C.A. Glasbey, G.W. Horgan, *Image analysis for the biological Sciences* (Wiley, Chisester, 1994).
19. P-A. Miquel, *Biologie du XXIe siècle : évolution des concepts fondateurs* (De Boeck, Bruxelles, 2008).

ANNEXE

Le questionnaire tel que distribué aux étudiants

HR Dahmani- Docteur en Didactique des Sciences-ENS Kouba (Alger)

Jussieu le 05/12/13

Cher(e)s participant(e)s,

Ce questionnaire ne fait pas partie de la formation à laquelle vous venez de participer (Traitement et analyse des images numériques en biologie-UPMC- Université Paris 6). Il rentre dans le cadre d'une recherche que je mène à propos d'une réflexion sur l'évolution du statut des images scientifiques.

Le questionnaire est anonyme. Vous disposez de **15 mn** ; pour cela, les réponses doivent être brèves.

Auparavant, je vous prierai de bien vouloir compléter les informations suivantes vous concernant :

- Sexe
- Filière d'études
- Niveau d'étude actuel
- Diplôme préparé
- Université
- Quel métier projetez-vous de faire ?
- Avez-vous reçu au cours de votre cursus une initiation au traitement d'images ?

Merci par avance pour votre aimable collaboration.

LES QUESTIONS :

1. Selon vous qu'est ce qui justifie le recours au traitement d'images ?
2. Quel(s) avantage(s) celui-ci est-il susceptible d'apporter à votre travail ?
Quel(s) possible(s) inconvénient(s) ?
3. Qu'est-ce qui est primordial dans une image scientifique? (*mettre le signe + sur la proposition retenue*):
 - sa qualité de départ
 - la possibilité de traitement qu'elle offre
 - sa proximité avec l'objet étudié
 - ses qualités iconographiques (couleurs, netteté....)
4. Si vous deviez remplacer le mot « image » par un autre vocable, lequel proposeriez-vous ?
5. En quoi aborder le traitement d'une image à l'échelle du pixel plutôt qu'à l'échelle de l'image toute entière aide-t-il à l'analyse ?
6. Pour vous, un histogramme est-il une image? Justifiez.
7. Après traitement, l'image d'arrivée doit-elle garder obligatoirement un haut degré de ressemblance avec l'image de départ ? Justifiez.
8. Vous semble-t-il plus facile d'analyser une image que vous auriez vous-même produit ? Justifiez.
9. Est-il plus facile pour vous de traiter et d'analyser une image d'un objet familier (ou macroscopique) que celle d'un objet microscopique ? Justifiez.
10. Le vocabulaire technique a-t-il été un obstacle à la prise en main du logiciel ? Précisez.
11. Le traitement d'une image numérique consiste-t-il (*mettre le signe + sur la ou les propositions retenues*):
 - à créer de nouvelles données
 - à révéler des données cachées
 - à transformer des données préexistantes
 - à éliminer les données superflues
 - à quantifier certains éléments
 - à soustraire des éléments non concernés par l'étude.
12. Comment comprenez-vous les trois vocables suivants souvent évoqués lors du traitement de l'image numérique : Le « bruit », l'« artéfact », le « défaut ».
13. Quelle(s) question(s) reste(nt) encore en suspend pour vous à l'issue de cet atelier ?
14. Quel aspect des choses voudriez-vous approfondir ?
15. Après cet atelier, allez-vous regarder les images des articles scientifiques avec un autre regard ? Si oui, précisez ?
16. Au cours de votre scolarité, avez-vous eu à analyser une série d'images issues d'un traitement numérique ? Précisez à quel niveau d'étude ?
17. Y a-t-il un intérêt à aborder des notions de traitement d'images dans les cycles pré-universitaires ? Précisez.
18. Autres commentaires éventuels.