

Réalité et virtualité dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre

Béatrice Desbeaux-Salviat, chargée de mission, délégation à l'éducation et la formation, Académie des sciences, Paris; beatrice.salviat@academie-sciences.fr

Dominique Rojat, inspecteur général de l'Éducation nationale¹;
dominique.rojat@education.gouv.fr

La science est une activité intellectuelle qui cherche à comprendre et expliquer des faits en proposant un modèle théorique qui se comporte comme la réalité. Étudiant des faits et produisant des idées, la science se situe donc à l'exacte charnière entre la virtualité et la réalité, ce qui ne peut qu'avoir des conséquences didactiques en particulier en ce qui concerne l'utilisation des ressources virtuelles.

Le concept de modèle, sous ses différents aspects, occupe une position centrale et permet d'aborder la place, dans l'enseignement des sciences, des faits, des idées et surtout de leur confrontation. La relation entre le professeur et les élèves, phénomène de communication, repose sur l'utilisation d'outils (de médias) de présentation de faits et d'idées. Ces outils peuvent être regroupés sous le terme de documents. Distinguer si un document représente un fait ou une idée, et de quelle façon, avec quel degré de fidélité, est une question à la fois centrale et difficile à résoudre.

Il faut pourtant résoudre cette difficulté, ou pour le moins prendre conscience de son existence, pour pouvoir aborder la didactique des sciences, en particulier lorsque les outils complexes de présentation virtuelle (présentielle ou distante) estompent peu à peu les contours du réel.

¹ L'auteur s'exprime ici à titre personnel.

I. Entre réalité et virtualité

I.1. La vérité et l'erreur

Considérons, à titre d'exemple, une question simple, et dont on peut penser qu'elle est aujourd'hui bien résolue, si toutefois cette expression a un sens : « Quelle est la forme de la Terre ? ».

Cette question s'intéresse à un objet matériel, qui a, en effet, une forme, c'est un fait. Elle n'est pas en elle-même scientifique, c'est une simple manifestation de curiosité. Si la curiosité est nécessaire à la réflexion scientifique, il ne suffit pas d'être curieux pour faire de la science. Proposons en première approximation l'idée légèrement iconoclaste suivante : il n'y a pas de question scientifique formulée *a priori*. Si la science intervient, c'est après la question naïve, au moment éventuellement où l'on commence à la formuler comme problème et à chercher une réponse. C'est le point de vue avec lequel on aborde une question qui lui confère son caractère scientifique.

Comment répondre à la question posée ? Il n'y a en fait que deux façons de le faire².

On peut accepter de recevoir la réponse de quelqu'un dont on pense *a priori* qu'il détient la vérité, par exemple, une vérité révélée par une autorité supérieure : « Je vous le dis, la Terre a la forme d'un ellipsoïde de révolution légèrement cabossé ».

On peut décider de ne faire confiance qu'à ses propres perceptions : on regarde autour de soi, et on constate : « La mer est horizontale et plate, or la mer recouvre à peu près la Terre, donc la Terre est plate ».

Comme on le sait, la première proposition est, dirions nous, vraie : pourtant, si on l'accepte comme telle, c'est parce qu'elle est imposée, et sans esprit critique. On nous l'a donnée et on l'a crue. Elle est du domaine de la croyance : cette réponse, pour vraie qu'elle soit, n'est pas, à ce stade, une réponse scientifique. Elle ne répond pas à la définition de Jacquard (1998) selon laquelle « *l'attitude scientifique ne consiste pas à croire, mais à systématiquement mettre en doute et réviser* ».

La deuxième proposition ne correspond pas du tout à l'idée que nous nous faisons actuellement de la forme de notre planète. Elle est, dirions nous, fautive. Pourtant, elle repose sur des observations, elle découle d'un raisonnement, et surtout, elle est réfutable, au sens de Popper (1991). Il suffirait que nous racontions les mesures faites par Ératosthène sur les ombres pour convaincre le lecteur de cette réfutabilité. À la suite de ce récit, et après une argumentation à la fois rigoureuse et simple, il serait convaincu, comme Ératosthène, que la Terre est sphérique

2 La formulation de ces deux réponses ne prétend pas correspondre à l'exacte évolution historique de la connaissance de la forme de la Terre. Il s'agit simplement d'illustrer un mode possible de progression des idées.

et il serait comme lui capable de calculer son rayon. On aurait une nouvelle réponse à la question posée, une réponse argumentée, quantifiée, calculée, mathématique. Une réponse, d'ailleurs, toujours fausse ou plus exactement seulement approchée. La Terre plate, la Terre sphérique, sont deux visions successives de la forme de la Terre. Ces deux visions sont fausses au regard des conceptions modernes. Pourtant elles sont raisonnées et réfutables. Elles sont du domaine de la connaissance et non de la croyance. Ce sont des réponses scientifiques. Et pourtant elles sont fausses.

Nous proposons donc au lecteur d'accepter avec nous, au moins provisoirement, l'idée légèrement iconoclaste suivante : la science n'a rien à voir avec la vérité, du moins une vérité unique, éternelle, universelle.

Notons au passage que si les questions ne sont pas en elles-mêmes scientifiques, les réponses peuvent l'être ou pas. Nous dirons qu'une réponse n'est scientifique que si on peut lui opposer des arguments contradictoires, que si elle est réfutable. Si deux réponses successives à une même question, pourtant très différentes, peuvent être l'une et l'autre scientifique, nous devons admettre que non seulement une réponse scientifique peut n'être que provisoire, mais aussi qu'une réponse n'est scientifique que si elle est provisoire, c'est-à-dire rectifiable. C'est donc une illusion de croire que la science dit la vérité. Une assertion n'est donc scientifique que si elle a une chance d'être un jour reconnue au moins partiellement comme une erreur.

• La certitude et le doute

Revenons sur les deux réponses initiales à la question posée. Essayons de comprendre très exactement par quel mécanisme intellectuel ces deux réponses diffèrent.

La première réponse, celle qui est du domaine de la croyance, est caractérisée par l'acceptation aveugle issue de la confiance absolue que l'on a en sa source. L'état d'esprit dans lequel on se trouve est la certitude. Mais, précisément à cause de ce caractère de croyance, elle risque de faire obstacle à la réponse scientifique (Bachelard, 1938; Canguilhem, 1972).

Dans le deuxième cas, aussitôt énoncée, la réponse proposée se confronte aux faits que révèle une observation plus ou moins facile et/ou immédiate. Au fond, ce n'est même pas vraiment la réponse qui est scientifique, c'est la possibilité de sa mise en doute. L'état d'esprit du penseur devient scientifique lorsqu'il se prend à mettre en doute ses idées.

On peut donc proposer une troisième idée, légèrement iconoclaste peut-être elle aussi : la science naît du doute. Comme le dit Charpak (cité par Jacquard, 1998) « la science est l'outil qui permet d'approcher le réel, d'apprendre la fécondité du questionnement, [...] de susciter l'argumentation et l'échange des idées [...] ».

• **La réussite et l'échec**

Si l'on compare les deux réponses scientifiques successives, on voit que l'on passe de l'une à l'autre par un processus intellectuel que l'on peut en simplifiant, présenter ainsi :

- la première idée s'impose et explique assez bien la réalité ;
- un fait nouveau est identifié, qui prend l'idée première partiellement en défaut ;
- l'idée première est au moins partiellement rejetée ;
- une nouvelle idée est élaborée, capable de rendre compte à la fois des observations anciennes et nouvelles, autrement dit de les intégrer.

Nous venons d'assister à un progrès scientifique. C'est en somme le résultat souhaitable d'une recherche réussie. Or, quel est l'élément essentiel de ce progrès scientifique ? C'est le moment où la mise en cause de l'idée ancienne (ce que permet le doute) aboutit à sa rectification partielle, ou plus rarement à son abandon total (c'est-à-dire à son échec)³.

Si la science naît du doute, elle progresse par l'échec. Voilà encore une idée sans doute un peu iconoclaste : la réussite de la science s'appuie sur son échec et ses erreurs. Comme le disent Ferry et Vincent (1988) : « *nos certitudes ne peuvent jamais porter sur la vérité, mais en revanche, on peut quand même échapper au scepticisme, car il est certain, et même absolument, que certaines propositions sont fausses* ».

• **Le sujet et l'objet**

Examinons maintenant la nature de ce à quoi s'intéresse la science, et la nature de ce qu'elle produit.

La Terre, la forme de la Terre, sont des éléments concrets, matériels, disons des faits, c'est-à-dire des éléments d'un vaste ensemble que l'on peut appeler la réalité.

« La Terre est plate », « la Terre est sphérique » sont des idées que l'on se fait de la Terre. Ce sont des éléments de savoir scientifique.

Si le sujet de la science (ce à quoi s'intéresse la science) est de l'ordre du fait, l'objet de la science (l'objectif de production de la science) est de l'ordre de l'idée indispensable pour comprendre et aussi pour transformer la réalité.

3 En réfléchissant à la nature de la psychanalyse, Freud propose des conceptions similaires : « *En règle générale, [la science] travaille comme l'artiste sur son modèle de glaise, quand, sur l'ébauche brute, inlassablement, il change, applique et enlève jusqu'à ce qu'il ait atteint un degré satisfaisant pour lui de ressemblance avec l'objet vu ou imaginé* ». *Nouvelles conférences d'introduction à la psychanalyse* (1933 pour l'édition originale, 1936 première traduction française chez Gallimard).

La science ne découvre pas la réalité, elle invente, elle construit une nature théorique dont le comportement prévisible (éventuellement calculé) correspond aux faits observés. Cette nature théorique est un ensemble de modèles de la nature, censés décrire, expliquer et éventuellement prévoir les faits.

On peut tirer de tout ceci un certain nombre de conclusions essentielles pour la question qui nous occupe :

- la science, qui cherche à comprendre les faits en construisant des modèles théoriques capables de décrire, d'expliquer et/ou de prévoir, se trouve à l'exacte frontière entre la matérialité (qu'elle veut expliquer) et la théorie (avec quoi elle veut expliquer) ;
- la notion de modèle, présentée ici sous un seul de ses aspects, est centrale dans notre réflexion ; il faudra donc y revenir ;
- la sérénité (on pourrait dire la rigueur) du discours scientifique n'est possible que si l'on ne confond pas le matériel et le théorique, c'est-à-dire si l'on ne confond pas le fait et l'idée.

• **La découverte des faits, l'invention des idées**

Il est habituel de parler de découverte scientifique. Or, découvrir (dé-couvrir) c'est rendre apparent ce qui existait avant mais qui était caché ou que l'on n'avait pas su voir. Il est évident que l'on ne peut découvrir que des faits. La recherche puis la découverte, ou la découverte fortuite de faits nouveaux est une activité scientifique, mais on peut dire qu'elle aboutit, en général, plutôt à poser des questions qu'à les résoudre.

Lorsque la science décrit un mécanisme, propose une classification, elle ne découvre pas, elle invente. Et cette activité est une production d'idées.

Le savoir scientifique ne résulte pas d'une constatation neutre de faits existant dans la réalité et découverts à l'issue d'activités de contemplation. La méthode expérimentale qui permet de retenir ou de réfuter les hypothèses initiales n'est pas la procédure unique conduisant à la connaissance. La découverte scientifique résulte d'un processus plus complexe que celui que véhiculent les visions empiriste et inductiviste de la science. La découverte scientifique n'est pas issue d'une illumination soudaine. Elle ne se produit qu'à l'issue d'un lent processus de maturation, dans un contexte social particulier. Elle est le résultat de la construction et de l'imagination d'un monde fictif dont les règles permettent de reproduire des faits qui appartiennent au monde réel.

Selon de Broglie (1937) « *l'expérimentateur doit, avant d'entreprendre son travail, se livrer à un effort d'imagination où, combinant les prévisions suggérées par la théorie et les ressources fournies par la technique des laboratoires, il fait le plan de son expérience et invente ou perfectionne la méthode qu'il va employer. Et voilà pourquoi la découverte expérimentale, au moins dans la science affinée de nos jours, a pour condition l'activité*

créatrice de notre pensée et possède par là les mêmes caractères qu'une invention. Faisant nécessairement intervenir dans sa préparation et dans son interprétation l'imagination théorique guidée et contrôlée par la raison, elle est loin d'être une pure constatation et porte la marque de notre activité spirituelle ».

Une activité scientifique peut être la découverte d'un fait nouveau ou l'invention d'une idée nouvelle. Ce sont deux activités différentes, mais souvent mêlées ou confondues. Lorsqu'un naturaliste du XIX^e découvrait une nouvelle espèce végétale, son activité était de l'ordre de la découverte (il repérait un objet inconnu, le remarquait, le récoltait), mais aussi de l'ordre de l'invention (il lui donnait un nom, une place dans une classification, c'est-à-dire dans une représentation virtuelle, idéale, du monde végétal). À partir de l'objet unique (l'échantillon) qu'il découvrait, il inventait une catégorie intellectuelle (l'espèce).

Schématiquement, on pourrait dire qu'après une période où la découverte était majoritaire dans les sciences de la vie et de la Terre (l'époque des naturalistes explorateurs, qui collectionnent, nomment, décrivent et dressent un tableau de la nature) est venue une période où l'invention domine (l'époque des biologistes et des géologues qui expliquent). Sans doute pourrait-on aussi remarquer que les proportions sont variables suivant les champs scientifiques : la botanique réside plus dans la découverte que dans l'invention, la physique des particules associe de longs développements inventifs et quelques découvertes de faits ponctuels.

Si les faits sont vrais, et les idées provisoires, il est intéressant de remarquer que les idées scientifiques peuvent aussi accéder au statut envié de vérité. Et cela de deux façons.

Parfois, on finit par observer physiquement ce que l'on avait imaginé par le raisonnement (les méthodes de GPS peuvent désormais mesurer le déplacement relatif des continents que l'on avait prévu plusieurs dizaines d'années auparavant) : ainsi les idées deviennent des faits. Le plus souvent, une idée scientifique s'impose peu à peu comme vraie, simplement parce qu'elle résiste longtemps à la réfutation. Les idées deviennent vraies, en somme, à l'usure, ou plutôt en résistant à l'usure.

2. Les modèles de modèles

Revenons sur cette notion de modèle, dont nous avons vu qu'elle est fondamentale dans le raisonnement scientifique moderne.

Il y a, comme on va le voir, plusieurs modèles de modèles (Rumelhard, 1988, 1992; Martinand, 1992; Schwartz, 1996; Orange, 1997; Rojat, 2002).

2.1. Un modèle à ne pas imiter

Si l'on emploie sans précaution le terme de modèle devant des élèves, ils lui donnent tout naturellement son sens le plus simple : un modèle, c'est ce que l'on cherche à imiter. Le professeur est un modèle pour l'élève, le raisonnement du professeur est le modèle de raisonnement qu'il faut faire. Le modèle représente l'idéal, la perfection. On n'est pas éloigné de la notion de *top model* qui représente l'idéal corporel inaccessible dont on cherche à s'approcher le plus possible, avec des succès variés.

Cette conception, si naturelle pour les élèves du terme modèle, est-elle si éloignée des attitudes spontanées des professeurs ? Rien n'est moins sûr. Observons une situation de classe banale : le professeur met ses élèves au travail dans une séance pratique expérimentale ; les résultats obtenus ne sont pas conformes à ce qu'il attendait. Inéluctablement, la conclusion sera : « *cela n'a pas marché, les résultats ne sont pas bons, nous allons travailler sur le livre* ». Or, les résultats obtenus sont des faits : ils ne peuvent être ni bons ni mauvais, ils existent. Dans cette attitude courante, le professeur affirme implicitement que lorsque les faits sont en contradiction avec la théorie, c'est que les faits ont tort, et non la théorie. La théorie est donc un modèle que les faits sont priés de respecter (de suivre) sous peine d'être rejetés comme mauvais.

Dans cette situation courante, classique, on voit s'opérer un renversement de valeur : on affirme la suprématie du théorique sur l'observé. Cela ne pourrait se faire qu'en prenant la précaution de faire référence à la solidité de la théorie, établie par ailleurs par la communauté scientifique. On va, sans le vouloir ni même vraiment le savoir, dans le sens de l'erreur naturelle des élèves et on déforme les esprits que l'on avait au préalable tenté de former en conduisant une démarche expérimentale qui se voulait rigoureuse. Il y a ici un réel obstacle pédagogique.

2.2. Un modèle qui sert d'exemple

La souris *nude* est un modèle de déficit immunitaire. Les Andes sont un modèle de chaîne de subduction. L'île de la Réunion est un modèle d'île volcanique résultant du fonctionnement d'un point chaud.

On désigne ici par modèle un exemple concret qui sert à étudier, valider, illustrer, réfuter, une théorie ; c'est un cas concret d'étude qui permet de comprendre une généralité. Il va de soi que toute recherche se fonde sur l'utilisation de ce type de modèle, qu'elle soit exprimée ou non.

Cette conception du modèle constitue le fondement de la contextualisation de l'enseignement. Un professeur de *sciences de la vie et de la Terre* sait qu'il doit, pour rendre son enseignement attrayant ou simplement compréhensible, choisir des exemples aussi familiers que possible aux élèves. Si c'est possible, c'est justement parce que de nombreux cas concrets se prêtent à la présentation d'une

même notion générale : pour étudier la nage des poissons, le capitaine du lagon de l'île Maurice fait aussi bien l'affaire que le brochet d'un lac d'Écosse.

On voit que dans ce cas, c'est le modèle qui est réel et sert à présenter une généralité virtuelle. Mais on peut remarquer que le modèle est ici toujours particulier, alors que ce qu'il prétend étudier est général. Il y a entre le modèle concret étudié et l'idée générale une relation de généralisation inductive qui ne peut être passée sous silence, sous peine de ce que l'on appelle communément une généralisation hâtive. L'histoire des sciences est pleine d'épisodes dans lesquels des travaux nouveaux montrent le caractère hâtif et erroné d'une idée que l'on avait d'abord crue générale, alors qu'elle ne s'appliquait qu'à quelques cas particuliers.

2.3. Le modèle conceptuel : représentation virtuelle du réel

Examinons le raisonnement par lequel l'étude des séismes permet de se faire une idée de la structure concentrique de la Terre. On observe les lieux, temps d'arrivée et caractéristiques physiques des ondes sismiques qui, produites par un grand séisme dont on connaît la localisation, se manifestent tout autour de la Terre. En particulier, l'existence d'une zone d'ombre (c'est-à-dire d'une région du globe qui ne reçoit aucune onde issue de ce séisme) permet d'imaginer l'existence d'un noyau, séparé du manteau par une discontinuité majeure.

D'une façon habituelle, on pourra décrire ces travaux comme la découverte du noyau terrestre. On estimera alors que l'existence du noyau, doit, dès lors, être considérée comme un fait. On considérera alors le noyau comme vrai.

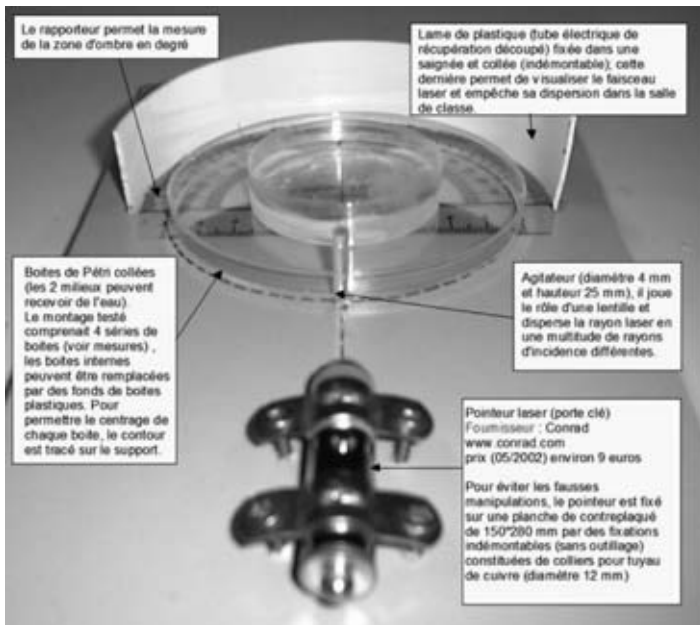
Proposons une autre façon de voir les choses. Nous dirons que nous imaginons une Terre théorique (un modèle de Terre) qui possède un noyau. Nous appliquons à ce modèle théorique les lois physiques de propagation des ondes sismiques et nous prévoyons l'existence dans cette Terre théorique d'une zone d'ombre. Si nous imaginons la surface du noyau à une certaine profondeur, nous constaterons que le modèle de Terre sur lequel nous réfléchissons possède une zone d'ombre identique à la zone d'ombre réelle de la Terre réelle. Nous dirons alors que tout se passe comme si la Terre réelle était exactement conforme à notre modèle théorique. Ce modèle sera considéré non pas comme vrai, mais comme valable. En attendant, naturellement, que des faits nouveaux conduisent à son perfectionnement.

Ce modèle est donc l'expression ou la représentation de l'idée que l'on se fait à un moment donné de la réalité. Il peut se présenter sous la forme d'une description textuelle, d'un schéma, d'un logiciel informatique ; il peut être simplement qualitatif ou quantitatif. Il est en tout cas le mode constant de présentation des idées scientifiques. Ce mode de présentation de l'état de la science, c'est le cadre de travail de ceux qui, pour faire progresser la science, tentent de prendre le modèle en défaut.

2.3. Le modèle analogique : réel ou virtuel ?

À l'aide de deux cristallisoirs emboîtés remplis de milieux transparents conve- nables et d'un rayon laser, il est possible de construire un modèle analogique de Terre (figure 1) qui, en utilisant des objets de natures différentes et de dimensions différentes de ce qui constitue la Terre réelle, permet de visualiser le cheminement de rayons lumineux analogues aux ondes sismiques. Ce montage est un modèle analogique de Terre, c'est-à-dire un objet qui se comporte de façon analogue à la Terre, tout en étant naturellement fort différent.

Figure 1. Modèle analogique de Terre⁴



La nature réelle ou virtuelle de ce modèle prête à discussion : s'il s'agit incontestablement d'un objet réel, il s'agit aussi d'une Terre virtuelle. La réalité n'est donc pas synonyme de matérialité.

Ce modèle analogique permet, suivant les besoins, de visualiser une théorie ou d'expérimenter à son sujet. Il faut cependant remarquer que tout ce que l'on peut tirer d'un modèle de ce type doit être considéré avec circonspection en raison des biais que peuvent introduire les changements de nature de matériaux, d'échelles d'espace et de temps. C'est au fond l'illustration de l'adage : « *comparaison n'est pas raison* ».

⁴ Disponible sur Internet : <http://www.ac-nantes.fr:8080/peda/disc/svt/zonedombre/realisation.htm> (consulté le 4 septembre 2006).

Une variante de modèle analogique est représentée par un logiciel qui se comporte comme la réalité supposée. C'est alors un logiciel de simulation.

2.5. Modèle et didactique

Les modèles que l'on peut utiliser avec des élèves peuvent donc se présenter sous plusieurs formes :

- un cas concret ;
- un schéma qui représente l'état d'une théorie (sous une forme classique ou numérique) ;
- un montage concret (qui peut être assorti de systèmes de mesures reliés à un ordinateur) ;
- un logiciel informatique (modèle numérique).

Ils ont des usages très variés :

- faire naître une idée générale à partir d'un exemple ;
- exposer une idée et la faire comprendre ;
- permettre la remise en cause des idées ;
- déterminer les conséquences prévisibles d'une idée.

Autrement dit, les modèles permettent aussi bien, et suivant les cas, d'enseigner les résultats de la science (l'état des connaissances scientifiques) que le fonctionnement de la science (la construction des connaissances scientifiques). On voit que la notion de modèle se trouve ainsi à la charnière de la dialectique du fait et de l'idée, ou du réel et du virtuel. C'est cette charnière que nous allons maintenant examiner.

3. La dialectique du réel et du virtuel

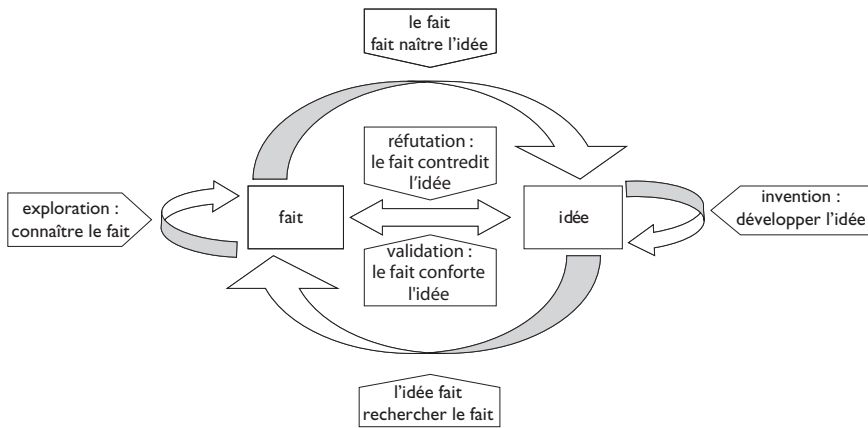
On se souvient que la science produit des idées pour expliquer des faits. La question est maintenant de savoir comment s'articule cette construction, quelles sont les différentes relations entre le fait et l'idée, c'est-à-dire entre l'unité virtuelle et l'unité réelle.

La figure 2 résume les différents types de relations possibles.

3.1. Le fait source d'idée

L'observation, dit-on, de la chute d'une pomme a suggéré à Newton l'idée de l'attraction universelle ; selon l'histoire racontée par Flemming lui-même l'observation d'une contamination de culture l'aurait conduit à la notion d'antibiotique. D'une façon générale, c'est une étape importante de la pensée scientifique : la rencontre d'un fait conduit à la formulation d'une idée, c'est l'inspiration. Il est

Figure 2. Les relations entre unité virtuelle et unité réelle



remarquable de constater que ce sont souvent des faits banals qui conduisent à énoncer des idées particulièrement originales et riches. Les scientifiques mettent en œuvre des qualités d'esprit elles aussi courantes, mais qu'ils utilisent d'une façon particulière : curiosité (qui met l'esprit aux aguets), sens de l'observation (qui introduit l'intelligence dans le regard), imagination (qui permet d'échafauder des idées), culture scientifique maintenue à jour, dans la mesure où parfois aussi, la chance sourit aux esprits préparés.

Parfois, les faits signifiants, ou déclencheurs, ne sont pas immédiatement apparents. Ils ne sont mis en évidence que par une phase exploratoire qui n'est pas forcément suscitée par une recherche dans une direction préétablie. Il y a une place, dans l'activité scientifique, pour le goût de la découverte de faits nouveaux, pour l'exploration, au sens naturaliste et empirique du terme, c'est-à-dire sans idée préconçue.

3.2. L'idée source de faits

S'il est vrai que la Terre n'est pas plate, alors, à une heure donnée, des bâtons de même longueur plantés verticalement à une même heure à Alexandrie et en haute Égypte ne doivent pas avoir les mêmes ombres. Si l'insuline extraite d'un pancréas est bien l'hormone hypoglycémiant, alors son injection dans le sang doit avoir un effet hypoglycémiant.

Une idée étant énoncée, elle conduit souvent à supposer l'existence de faits que l'on peut ensuite rechercher (investigation). Ces faits peuvent être naturels (plus ou moins faciles d'observation) ou provoqués (faits expérimentaux).

L'imagination permet de déterminer ces faits, conséquences prévisibles des idées scientifiques. C'est elle aussi qui sert à l'élaboration de projets exploratoires

ou de protocoles expérimentaux. Le sens de l'observation permet de débusquer le fait recherché. Une certaine habileté manipulatrice est souvent aussi requise.

3.3. La confrontation du fait et de l'idée

Une idée a conduit à la recherche d'un fait. Le résultat de cette recherche sert à valider ou non l'idée initiale.

Si le fait cherché est trouvé comme on s'y attendait, l'idée est confortée. C'est une démonstration, au sens expérimental du terme, sens très différent de celui utilisé en mathématiques : cette démonstration ne découle pas d'un raisonnement déductif. Et cette démonstration n'est, comme on l'a dit, que provisoire.

« La science est continuellement mouvante dans son bienfait. Tout remue en elle, tout change, tout fait peau neuve. Tout nie tout, tout détruit tout, tout crée tout, tout remplace tout. La science cherche le mouvement perpétuel. Elle l'a trouvé; c'est elle-même. Tout remue en elle, tout change, tout fait peau neuve... La science va sans cesse se raturant elle-même... Elle est l'asymptote de la vérité : elle approche sans cesse et ne touche jamais. [...] Hippocrate est dépassé; Archimède, Paracelse, Vésale, Copernic, Lavoisier sont dépassés. Pascal savant est dépassé, Pascal écrivain ne l'est pas » (Hugo, 1882).

Si le fait recherché se dérobe, reste introuvable, la situation reste indécise. Ne pas rencontrer la preuve recherchée ne prouve pas qu'elle n'existe pas. Si le fait trouvé n'est pas celui que l'on attendait, cette rencontre peut conduire à remettre en cause la théorie précédente qui est alors réfutée et doit être remplacée par une autre.

De nouvelles qualités intellectuelles sont ici à l'œuvre : rigueur du raisonnement, respect des faits (qui ont toujours raison ?), sens du doute, utilisation de l'échec.

3.4. Les conséquences didactiques

Ce sont ces qualités d'esprit, utiles à la science, mais pas seulement à la science, que l'on cherche à développer chez les élèves en leur enseignant non seulement les résultats de la science, mais aussi la construction du savoir scientifique : curiosité (qui n'est pas, en sciences, un vilain défaut), sens de l'observation, imagination, rigueur, respect des faits, doute, vision positive de l'échec. La formation de l'esprit par l'enseignement de la science dépasse largement la formation des futurs scientifiques.

Un enseignement scientifique réellement formateur ne peut qu'être fondé sur cette dialectique permanente du fait et de l'idée. C'est cet aller-retour permanent qui constitue le fondement d'une démarche d'investigation scientifique⁵.

⁵ Stefan Zweig, dans *Brûlant secret* (1938, Grasset, 2002) propose un bel éloge de l'éveil des esprits par le tâtonnement curieux : « [...] rien ne déploie mieux toutes les possibilités de l'intellect non encore mûr qu'une piste qui se perd dans l'obscurité ».

La classe n'est pas un laboratoire. Un cours de science n'est pas un travail de recherche. En pratique, avec les élèves, on réalise un travail de confrontation de faits et idées accéléré, dont l'ampleur des domaines abordés est incomparablement plus large que le domaine de recherche d'un homme de science pendant toute sa vie professionnelle. Cette accélération du temps, cet encyclopédisme des domaines de réflexion, peuvent s'accompagner d'une perte de rigueur, d'une confusion des esprits. Éviter ces écueils n'est possible qu'en prenant grand soin de trouver la bonne présentation des faits et des idées que l'on souhaite discuter, c'est-à-dire en choisissant avec soin et à propos les médias utilisés. En première approximation, et d'une façon générale, ce média de présentation est un document. C'est à propos de cet outil médiatique fondamental qu'il faut maintenant s'interroger.

4. Le document : médiatisation du fait et/ou de l'idée

4.1. La diversité des documents

Un document est un média qui présente en lui-même une certaine réalité concrète. Les documents utilisés pour l'enseignement des sciences sont de nature très variée :

- des échantillons, c'est-à-dire des objets naturels ou des parties d'objets naturels : coquille de mollusque, feuille d'arbre, roche, fossile, etc. ;
- des préparations plus ou moins élaborées réalisées à partir d'éléments naturels : coupes microscopiques, lames minces de roches ;
- des montages expérimentaux réels ;
- des photographies, représentations d'objets naturels variés : ceux qui peuvent être présentés en tant qu'échantillon, ou ceux qui ne le peuvent pas, pour des questions d'impossibilité spatiale ou temporelle (paysage, criquet au cours du saut) ;
- des enregistrements vidéo et/ou audio : scènes de la vie d'un animal dans la nature, conférence scientifique, etc. ;
- des représentations schématiques ou semi-schématiques : cartes géologiques, représentations schématiques d'une théorie (d'un modèle conceptuel), coupes géologiques... ;
- des textes, anciens ou récents, décrivant des faits ou exposant des idées ;
- des résultats expérimentaux sous des formes variées (tableaux de chiffres, courbes, diagrammes, descriptions de protocoles, représentations de montages) ;
- des logiciels de simulation ou de modélisation ;
- des bases de données informatiques ;
- des sites Internet.

Derrière cette diversité de contenus se cache aussi une grande diversité de supports (objets réels, papiers, enregistrements sur bandes magnétiques, supports numériques variés) et une toute aussi grande diversité dans la relation que l'élève entretient avec le document pendant son étude (toucher, regard, ouïe, interface machine, interface réseau – local ou distant). Autrement dit, le document, qui est *a priori* un objet réel (dans le sens le plus large du mot objet), contient une certaine dimension virtuelle.

La question est de savoir comment on peut maîtriser ces différents degrés de diversité pour conduire un enseignement scientifique efficace. En d'autres termes, comment l'usage des documents permet-il de conduire la relation fait/idée ?

4.2. Le document, entre réalité et virtualité

Empruntons à Magritte quelques images pour conduire notre réflexion. Magritte, peintre surréaliste, place sa peinture (nous dirons, les documents qu'il nous fournit) dans le domaine de la surréalité. Le tableau plus réel que le réel ? On est bien au cœur de nos préoccupations⁶.

Le tableau intitulé *Ceci n'est pas une pipe* représente, à l'évidence,... une pipe. C'est une pipe, mais il est pourtant impossible de la fumer : ce n'est donc pas une pipe, ou pas une pipe réelle. C'est une pipe virtuelle, et pourtant, on ne peut concevoir tableau plus réaliste ! Un tableau figuratif, ne peut jamais être autre chose que l'image de ce qu'il représente. C'est un objet réel, qui représente une chose virtuelle, d'une façon assez fidèle pour qu'on puisse y reconnaître toutes les caractéristiques de la chose réelle.

Dans un autre tableau, *Madame Récamier* est représentée sous un jour un peu particulier : un cercueil sur un lit. Plus que sa personne, c'est l'idée de son caractère mortel qui est évoquée. Le titre du tableau annonce ici une représentation réaliste, alors que c'est une réalité future qui s'impose avec force et ironie : la mort inéluctable. La mort est bien réelle ; la représentation de cette réalité future est toute virtuelle. Au fond, la madame Récamier réelle est-elle plus éloignée de sa représentation qu'une pipe réelle ne l'est de son image ?

L'empire des lumières est un tableau figuratif de facture assez classique : la représentation d'apparence fidèle d'un paysage réel. À un détail près cependant : un ciel de jour domine un paysage nocturne. C'est en somme une représentation d'allure très réelle d'une situation impossible et donc purement virtuelle. Il est donc possible de donner une image convaincante d'une situation totalement inventée et impossible.

6 On pourra aussi trouver des réflexions intéressantes sur la relation entre l'image et la réalité chez Sartre dans *L'imaginaire* (Gallimard, 1940) : « Une image de chaise n'est pas, ne peut pas être une chaise » ou encore : « [...] l'image est un acte qui vise dans sa corporéité un objet absent ou inexistant, à travers un contenu physique ou psychique qui ne se donne pas en propre, mais à titre de «représentant analogique» de l'objet visé ».

La condition humaine est, si l'on veut, une réalité. Pourtant, elle n'a pas au sens propre du terme une existence matérielle. Il n'est pas possible de voir la vraie condition humaine. Comment peut-on donc représenter ce que l'on ne peut pas voir dans la réalité ? Le tableau donne ainsi une réalité à ce qui n'est en réalité que virtuel...

Les tableaux de Magritte nous apprennent un certain nombre de choses :

- aucun tableau ne peut prétendre à la présentation réelle du fait ;
- un tableau peut représenter un fait, une idée, ou un mélange complexe des deux ;
- si le tableau est bien réel, ce qu'il véhicule est présenté de façon très largement virtuelle.

En quoi ces tableaux nous renseignent-ils sur le mode d'utilisation des documents scientifiques ?

4.3. L'impossible présentation du fait

Une carte géologique représente la nature des terrains à l'affleurement, les structures tectoniques observables : quoi de plus fidèle à la réalité du terrain ? Pourtant, une carte géologique a un auteur : les faits, eux, n'ont pas d'auteur. L'auteur de la carte est celui qui a étudié le terrain, qui a déduit des observations possibles ce qui était caché (ne serait-ce qu'en supposant ce que l'on trouve sous le couvert végétal). Ce qu'il a représenté doit tout autant à ses connaissances, ses conceptions, ses idées scientifiques qu'aux données brutes enregistrées sur place. Il est même probable que son regard est plus ou moins attiré par tel ou tel détail en relation avec ce qu'il sait de la géologie. D'ailleurs, au fil du temps, les cartes d'une même région se succèdent, fort différentes souvent, pour représenter une immuable région. La raison en est simple : les techniques se perfectionnent, certes ; l'attention se concentre, sans doute ; mais surtout les connaissances progressent, c'est-à-dire les idées évoluent. La représentation cartographique des faits dépend des idées que l'on s'en fait.

Une photographie d'une ville dévastée par un tremblement de terre présente avec un réalisme implacable le déroulement du drame. Et pourtant, cette photo ne doit-elle pas beaucoup à l'intelligence de l'œil du photographe ? N'a-t-il pas choisi son angle de vue, l'endroit où fixer son regard ? En somme n'a-t-il pas, pour prendre sa photographie, fait les choix qui lui permettent de donner à voir ce qu'il veut montrer ? D'autre part, le lieu photographié existe dans un espace à quatre dimensions (les trois axes de l'espace, plus le temps) alors que la photographie n'en a plus que deux. Il manque encore le bruit, l'odeur peut-être. Les dimensions sont réduites : une rue écroulée tout entière tient sur un rectangle de papier. Du réel à la photographie, on a perdu des dimensions et on a perdu en dimension. Et que dire de ce que l'on a pu faire subir au cliché entre son développement et son

impression ? Les techniques de traitement de l'image pourraient ôter toute crédibilité au moindre document photographique.

Un échantillon de basalte, posé sur la table, devant un élève : voilà un objet concret. Et pourtant cette roche a été récoltée parmi beaucoup d'autres possibles. On a certes, pour des raisons pratiques, choisi une taille raisonnable, mais n'a-t-on pas aussi privilégié celle qui présente les caractéristiques typiques (on pourrait dire idéales) que l'on voulait mettre en évidence ? N'a-t-on pas au contraire éliminé l'échantillon incompris, atypique ou contraire à ce que l'on veut montrer (celui-là même, peut-être, qui, récolté par un plus curieux, ou plus inventif, aurait permis de corriger une idée première en la prenant en défaut) ? Le professeur de *sciences de la vie et de la Terre* a choisi un échantillon utile à son cours de géologie; le professeur d'arts plastiques aurait-il récolté le même pour travailler sur la forme et la couleur ?

Ces trois exemples de documents de type très classique, montrent assez bien comment l'idée s'introduit dans le fait, comment la construction du document par son auteur, comment le choix du document par le pédagogue, s'éloignent de l'objectivité parfaite des faits. Faut-il renoncer pour autant à présenter des faits ? Non bien sûr, puisque c'est au contraire un moyen incontournable d'aborder la science. Mais le pédagogue doit être conscient de la part de subjectivité, de choix, d'intelligence (c'est-à-dire de virtualité) dans le document censé présenter des faits. Il doit même attirer l'attention des élèves sur cette difficulté d'approche, sur l'indispensable éveil de l'esprit critique qui doit toujours souffler ces questions : qu'est-ce que je suis en train d'observer ? Quelle part d'interprétation (d'opinion) se cache dans l'apparente matérialité de ce que j'ai sous les yeux ?⁷ Regarder, c'est choisir, c'est décider de fixer notre attention sur certains éléments et donc forcément en exclure d'autres qui pourtant font partie de notre champ de vision.

4.4. Des idées à l'allure de faits

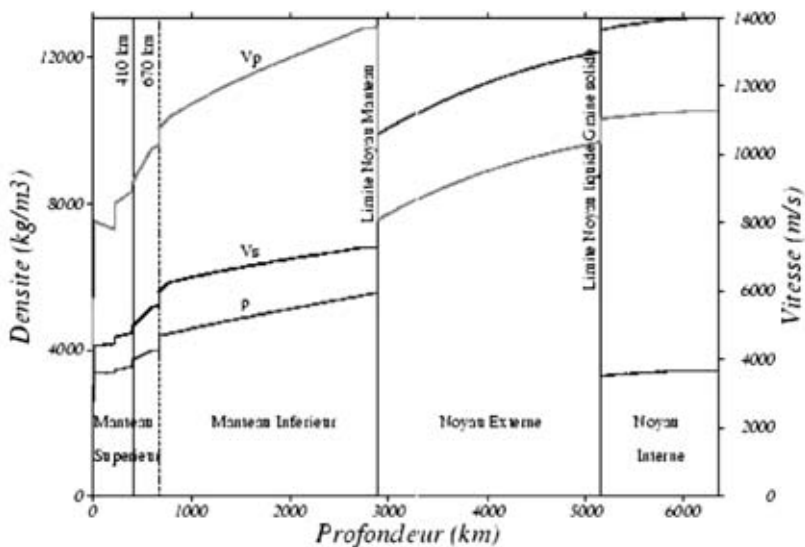
Si, dans les exemples précédents, la matérialité est bien présente, modulée par l'idée certes, mais de façon vénielle, il arrive souvent qu'un document clairement immatériel soit reçu comme totalement réel. Nous en prendrons deux exemples.

Observons une tomographie sismique de la Terre. Un jeu de couleurs vives traduit les caractéristiques de la propagation des ondes sismiques dans le manteau terrestre. Reçu par l'élève, et même parfois exprimé par le professeur, la légende pourrait en être : « *Représentations des vitesses sismiques mesurées en différents points du manteau* ». Or, ce n'est pas du tout de cela dont il s'agit. Les seuls faits réels à

7 Cette interprétation du rôle créatif du regard n'est pas l'apanage des didacticiens des sciences. Ainsi, Amélie Nothomb écrit dans *Métaphysique des tubes* (Albin Michel, 2000) : « *Le regard est un choix. Celui qui regarde décide de se fixer sur telle chose et donc forcément d'exclure de son attention le reste de son champ de vision. C'est en quoi le regard, qui est l'essence de la vie, est d'abord un refus* ».

l'origine de ce document sont des temps d'arrivée d'ondes sismiques enregistrées en différents points de la surface : un tableau de nombres tout à fait impossible à interpréter pour le non spécialiste. À partir de ce tableau, de longs algorithmes permettent d'obtenir des vitesses calculées en différents points. Ces vitesses calculées sont ensuite comparées aux vitesses supposées normales en ces points tel que les prévoit un modèle théorique de Terre. C'est donc un écart entre une réalité calculée et une théorie elle aussi calculée, traduit en un code de couleurs, que l'on a représenté. On est bien loin du titre proposé et le document est bien loin du réel que l'on a cru qu'il représentait. La figure 3 représente un modèle relatif à la propagation des ondes sismiques, souvent présenté à tort comme un fait.

Figure 3. Modèle PREM, référence pour les vitesses d'ondes de volume et de densité (d'après Dziewonski & Anderson, 1981)⁸



Mais c'est sans doute avec les logiciels de simulation que la situation devient la plus caricaturale. Prenons l'exemple du logiciel *abeille*[®], excellent au demeurant et très utile. Il nous propose de déterminer, par exemple, les caractéristiques du langage dansé des abeilles. C'est un véritable jeu vidéo : on choisit le nombre d'abeilles, on les place dans des situations choisies, on les voit réagir et, par la succession d'un certain nombre d'études, on finit par comprendre leur mode de communication. Présenté comme un jeu vidéo, cet outil est clairement virtuel ; pourtant, on y pratique une démarche expérimentale : quoi de plus réel que l'expérimentation ? Il va de soi que le logiciel ne permet de découvrir que les lois que l'on a utilisées

⁸ Disponible sur Internet : http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/geosciences/geodyn_int/sismo/prem/prem.htm (consulté le 15 septembre 2006).

pour le programmer. Il s'agit en effet d'une découverte de ce que l'on y avait caché : version numérique d'une banale chasse au trésor... Mais si l'on n'y prend pas garde, on voit un groupe d'élèves qui croit expérimenter réellement, qui croit inventer des lois de la nature et qui ne fait plus la différence entre son observation effective et le jeu de simulation. De fil en aiguille la question arrive tôt ou tard : pourquoi faudrait-il expérimenter sur le réel puisque l'on peut obtenir les mêmes résultats avec un ordinateur ? Où l'on voit en quoi la confusion entre le réel et le virtuel déforme l'esprit.

Ces deux cas sont exemplaires et conduisent à une conclusion : les outils sophistiqués, issus de la mise en œuvre d'une puissance de calcul et d'une programmation savante, sont utiles et efficaces si on les utilise en connaissance de cause, inutiles et même dangereux s'ils sont mis en œuvre sans conscience de ce qu'ils sont. La qualité de l'acte pédagogique reste l'apanage du pédagogue.

4.5. Le document : médiatisation de l'idée

C'est évidemment un usage fréquent du document que la présentation d'une idée, sous forme schématique par exemple. Un schéma de synthèse, après tout, est aussi un document.

Mais, là encore, c'est la confusion dans la nature des choses qui est dangereuse : les élèves qui apprennent par cœur le schéma représentatif d'une belle théorie sont-ils toujours conscients qu'ils étudient l'opinion de scientifiques et non une description de la réalité ? À ce propos, évoquons une anecdote significative. Un candidat au concours d'entrée à l'école vétérinaire dessine une mitochondrie au tableau noir pendant son épreuve orale. À l'intérieur, il représente les crêtes et dans la matrice un rond. « *Qu'est-ce que ce rond dans la matrice ?* » demande l'examineur. « *C'est le cycle de Krebs* » répond l'étudiant. Cet exemple vécu montre la confusion possible – mise ici sur le même plan figuratif – entre des éléments matériels (les crêtes mitochondriales) et un modèle biochimique abstrait (le cycle des acides tricarboxyliques).

Dans ce cas, l'histoire des sciences peut rendre service à la didactique, dans la mesure où elle permet de rendre plus vivants et plus pleins les problèmes, les difficultés, les évolutions du questionnement, les retours et les réinterprétations. Un regard historique aide à donner un statut de modèle, d'objet construit à ce qui pouvait sembler être une réalité observable. La figure 4 laisse percevoir, à travers quelques unes des formulations proposées au fil du temps par Hans Adolf Krebs, la part d'imagination inhérente au processus de construction du savoir scientifique (Desbeaux-Salviat, 1997, 2003).

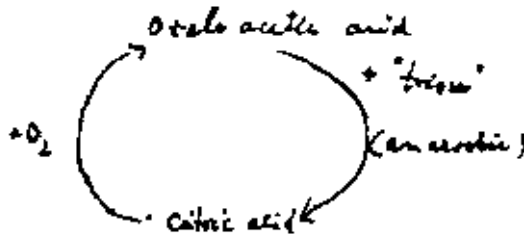
4.6. La place du document numérique

Comme on le voit, la discussion sur les relations entre le réel et le virtuel n'est pas directement liée à l'introduction de l'outil numérique. Cependant, l'utilisation

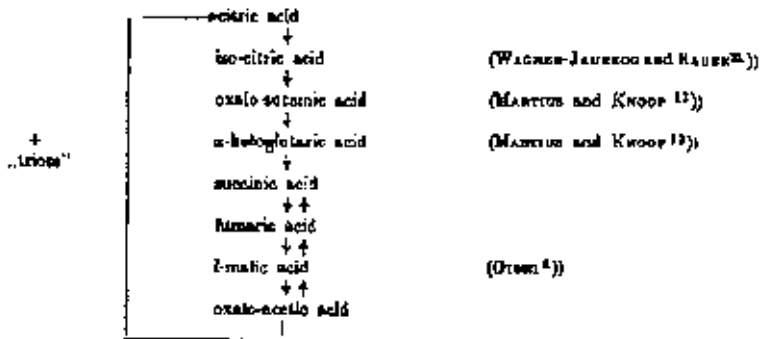
des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement complique et enrichit cette relation, et rend indispensable une réflexion sur la nature de ces relations.

Figure 4. Formulations successives du cycle de Krebs par son auteur en 1937

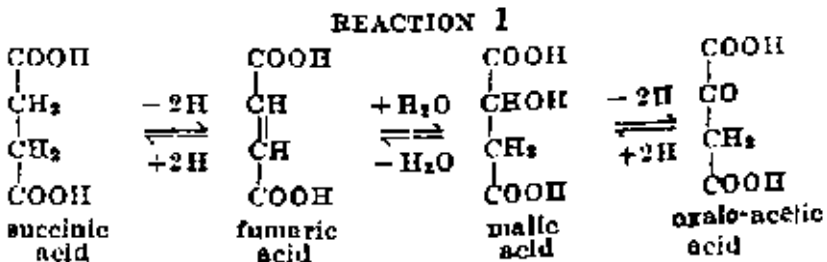
1. Protocycle extrait d'un projet d'article refusé par la revue *Nature*



2. Présentation rectangulaire du cycle publiée dans la revue *Enzymologia*



3. Formules semi-développées des molécules impliquées dans le cycle publiées dans la revue *The Lancet*



Les TIC permettent l'utilisation de documents virtuels d'un très grand réalisme, notamment par l'introduction facile du mouvement, dans un document animé. Quoi de plus parlant, pour expliquer la structure d'une molécule, qu'un logiciel de présentation en trois dimensions, permettant de faire tourner la molécule dans l'espace ? Mais quel danger si les élèves prennent cette image pour une photographie de la molécule !

L'expérimentation à l'école est enrichie, dans l'*expérimentation assistée par ordinateur* (ExAO), par la puissance de traitement du signal d'un ordinateur de bureau ordinaire. Quelques mesures réalisées par une sonde à oxygène et transmises automatiquement à un logiciel très simple permettent le tracé direct de courbes qu'il serait long et fastidieux de produire à la main. Mais que devient la formation intellectuelle de l'élève si le traitement informatique du signal est senti comme un procédé magique et fait oublier toute l'incertitude inhérente à l'expérimentation ?

Dans une classe de la Réunion, l'Internet permet une excursion virtuelle dans une forêt du bassin parisien, une plongée sur la dorsale médio-atlantique ou une excursion géologique sur le rift de Djibouti. Mais quel drame si cette possibilité sert de prétexte ou d'excuse pour renoncer à tout travail réel sur le terrain ! Cette ouverture sur le monde lointain permettra-t-elle de mieux prendre conscience de l'originalité du contexte local, ou fera-t-elle oublier les distances ? Saurons-nous exploiter les riches potentialités pédagogiques de la communication à distance entre élèves ?

5. Le fait, un concept qui a évolué dans le temps

Dans le langage commun, dire « *c'est un fait !* » permet de couper court à la discussion. Pour Bachelard (1938) la « *méthode des faits pleine d'autorité et d'empire* » résume les conceptions préscientifiques du réel. Dans ce qui précède, on a pris le terme de fait dans ce sens primaire, de simple élément d'un ensemble qui constitue la réalité. Mais, à y regarder de plus près, ce concept lui-même ne résiste pas totalement à l'analyse critique et il y perd de son objectivité. D'une façon cocasse l'étymologie du mot *fait* renvoie à son caractère construit.

5.1. Le fait, élément perçu de la réalité sensible

En 1865, Claude Bernard soumet le fait – en tant que réalité – à l'idée expérimentale : il en est à la fois l'origine et le contrôle. Ce sont les faits qui jugent l'idée. La formule extrait le fait du réel brut pour en faire l'occasion ou la cause d'un jugement épistémologique. Le fait branché sur l'idée sert à construire une connaissance dotée d'une véritable architecture.

Henri Poincaré (1902) affirme : « *Une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierre n'est une maison* ». Si les faits sont des éléments à relier,

organiser, structurer pour qu'ils produisent un sens, on admet qu'ils sont eux-mêmes le produit d'une construction.

5.2. Le fait, produit pénétré de raison critique

Bachelard, dans *Le nouvel esprit scientifique*, propose une sorte de chaîne où le phénomène, après une série d'opérations de tri, d'épuration et de formatage, passe par les instruments, eux-mêmes produits matériels des théories. Lorsque le phénomène est ainsi transformé par la théorie – *via* l'observation et l'expérience – il aura peut-être droit à l'appellation *fait scientifique*.

À l'encontre du réalisme naïf du langage ordinaire, en désaccord avec l'idéalisme d'origine platonicienne, il en résulte que le fait ne se définit non plus comme un élément du réel ou de l'être, mais à la fois comme construction et description. Le fait – dans cette acception – est pris dans un processus de construction théorique. Les faits scientifiques ne sont ni des choses, ni des phénomènes, mais des descriptions de la nature soumises à des procédures de réfutation. Ce sont ces procédures qui leur confèrent un statut scientifique. Dans *La logique de la découverte scientifique*, Popper écrit : « *un système faisant partie de la science empirique doit pouvoir être réfuté par l'expérience* ».

Il nous faut distinguer le « *fait perçu ou observé* » du « *fait critiqué ou reconstruit* ». Seul ce dernier peut être mis en relation avec des théories ou des hypothèses qu'il peut alors infirmer ou confirmer⁹. Selon Canguilhem une théorie ne procède jamais des faits, « *c'est dans les aller-retour du concept image de cellule entre théorie mécaniste et théorie vitaliste, entre protocoles d'observation scientifique et enrôlement au service d'analogies politico-idéologiques que vont surgir des enjeux successifs* »¹⁰. L'élaboration du fait scientifique suppose l'abandon de l'empirisme au profit du raisonnement constructif et expérimental qui aboutit à une nouvelle conceptualisation du fait. Dans le participe passé fait, on trouve le résultat d'une action double : celle de la raison humaine et de la construction d'un paradigme du réel sur le résultat supposé d'une autre action, naturelle et non humaine.

La science se nourrit de faits observés. « *Mais il n'y a pas de faits bruts; même l'éclipse, le coup de tonnerre, le précipité dans l'éprouvette, portent une théorie plus ou moins naïve, plus ou moins élaborée, jamais absente. Nous ne pouvons même pas sentir*

9 Cette complexité de la notion de fait se trouve déjà clairement exprimée par Rousseau (*L'Émile ou de l'éducation*, 1762) : « *Mais qu'entend-on par ce mot de faits ? Croit-on que les rapports qui déterminent les faits historiques soient si faciles à saisir, que les idées s'en forment sans peine dans l'esprit des enfants ? Croit-on que la véritable connaissance des événements soit séparable de celle de leurs causes, de celle de leurs effets, et que l'historique tienne si peu au moral qu'on puisse connaître l'un sans l'autre ?* ».

10 Georges Canguilhem, *philosophe, historien des sciences*, Bibliothèque du collège international de philosophie, Paris, Albin-Michel, 1993, p.51. « *Bien loin qu'un fait perçu ou observé soit, du seul fait qu'il est perçu ou observé, un argument pour ou contre une hypothèse, il doit d'abord être critiqué et reconstruit de façon que sa traduction conceptuelle le rende logiquement comparable à l'hypothèse en question (...)* Seuls les faits réformés apportent des informations » (Leçon sur la méthode).

ou percevoir sans y apporter de nous-mêmes, de notre acquis. La pensée ne se laisse jamais éliminer » (Piaget, 1967).

5.3 Les faits s'insèrent dans un contexte culturel

Donc, les faits ne sont pas donnés *en soi*, indépendamment de tout contexte culturel. Toutefois, ils ne sont pas des constructions subjectives, dans le sens courant de cet adjectif, c'est-à-dire individuelles. C'est grâce à une manière commune de les voir et de les décrire que les faits sont les faits. Personne ne peut décrire le monde par sa seule subjectivité, il est indispensable de s'insérer dans quelque chose de plus vaste, une institution sociale, une vision organisée admise par une communauté.

Si je suis daltonien et que je déclare que « *les algues chlorophylliennes dans une bouteille transparente posée devant moi sur la table sont un breuvage rouge* », mon interprétation est subjective car elle dépend de ma manière individuelle de structurer le monde. Mais si, dans les mêmes conditions, je parle d'une bouteille contenant une suspension d'algues vertes capables de photosynthèse, on dira que mon observation est objective et pourtant c'est par une activité structurante et par la médiation d'une culture partagée que j'ai pu produire cette observation. On peut ainsi s'apercevoir que le caractère prétendument objectif des observations provient directement de conventions véhiculées par des activités humaines.

6. Conclusions

Il a fallu des siècles pour admettre que le fait était le produit d'un faire, ce que le langage spontané affirme pourtant clairement : *factum* peut renvoyer à une construction, un ouvrage, un travail. Passer du fait perçu au fait scientifique résulte de pratiques contrôlées, de théories incarnées par des instruments, hauts faits de l'activité humaine et pédagogique.

L'arrivée des *technologies de l'information et de la communication appliquée à l'enseignement* (TICE) dans l'outillage pédagogique banal oblige à repenser les relations entre réalité et virtualité qui fondent la réflexion scientifique. La puissance des outils numériques, le réalisme des effets spéciaux au service de la science et de son enseignement, l'abolition des distances, le jeu permanent avec la dimension temps permettent une richesse de la pratique didactique inaccessible jusque là. Mais le risque est grand de perdre ses repères, de confondre le réel et le virtuel et d'oublier ainsi le sens même de la science.

Comme souvent, à l'arrivée des outils, l'appropriation des nouveaux moyens de communication concentre toute l'énergie et l'attention disponible. On utilise l'outil pour l'outil ; la pédagogie est au service de l'usage de l'outil et non l'inverse. Cette période est aujourd'hui révolue : nous entrons dans la phase d'appropriation, d'asservissement (au sens de mise au service) de l'outil. La relation pédagogique est l'essentiel de l'enseignement, les TICE sont là pour l'enrichir. ■

Remerciement

Nous remercions Guy Rumelhard pour ses relectures et judicieuses suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1934). *Nouvel esprit scientifique*. Paris : PUF.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris : Vrin.
- BERNARD C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion.
- CANGUILHEM G. (1968). Modèles et analogies dans la découverte en biologie. In *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.
- CANGUILHEM G. (1972). Vie. In *Encyclopaedia Universalis*.
- DE BROGLIE L. (1937). L'invention dans les sciences théoriques. *Science, l'Encyclopédie annuelle*, n° 14, p. 7 (Paris, 14, rue Brunel).
- DESBEAUX-SALVIAT B. (1997). L'histoire du cycle de Krebs. Un exemple de retour aux publications-sources. In J. Rosmorduc (dir.). *Histoire des sciences et des techniques*. Rennes : CRDP de Bretagne.
- DESBEAUX-SALVIAT B. (2003). Enseignement des sciences et communautés virtuelles à vocation éducative sur le site Internet *La main à la pâte*. In A. Senteni & A. Taurisson (dir.) *Les communautés virtuelles en action : exemples concrets pour penser le futur*. *Pédagogies.net*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- FERRY L. & VINCENT J.-D. (1988). *Qu'est-ce que l'homme ?* Paris : Odile Jacob.
- HUGO V. (1882). William Shakespeare. In *Œuvres complètes*, t. II. Paris : J. Hetzel.
- JACQUARD A. (1998). *L'équation du nénuphar*. Paris : Calmann-Lévy.
- MARTINAND J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- PIAGET J. (1967). *Logique et connaissance scientifique*. Paris : Gallimard.
- POINCARÉ H. (1902). *La science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion.
- POPPER K. (1984). *Logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- POPPER K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.

- ROJAT D. (2002). Modélisation et simulation, quelques aspects des relations entre l'idée et le réel. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*. Paris : Scéren.
- RUMELHARD G. (1988). Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie. *Aster*, n° 7, p. 21-48.
- RUMELHARD G. (1992). Un exemple de modélisation en biologie : les mécanismes de régulation. In J.-L. Martinand (dir.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- SCHWARTZ D. (1996). Les modèles en biologie et en médecine. *Pour la Science*, n° 227.