
UTILISATION DES FLÈCHES DANS LES SCIENCES

Christiane HAGUENAUER
Professeur - IUFM de Lorraine

INTRODUCTION

Largement utilisé comme symbole en sciences, la flèche présente une polysémie qui rend possible son usage comme signe d'écriture à valeur de joker dans la construction du savoir. Dans les ouvrages scientifiques et de vulgarisation, les flèches participent à la transmission de la connaissance. Mais, en l'absence d'explicitation de leur signification, le lecteur en fait un décodage qui dépend du ou des sens implicites que lui-même attribue au signe dans son propre cadre de lecture, autrement dit de l'ampleur de son savoir. L'approche épistémologique de la naissance et de l'évolution de la polysémie des flèches est grandement facilitée par l'analyse de *l'Encyclopédie ou dictionnaire des sciences, des arts et des métiers*, édité à partir de 1751. Comme dans les ouvrages actuels, la sémantique des flèches y est rarement explicitée : mais elle est moins variée donc plus facile à déterminer, d'autant que *l'Encyclopédie* se caractérise par une redondance fréquente du texte et des images. Il en est de même pour l'emploi didactique des flèches dans les plus anciens manuels de sciences. Comment la flèche peut-elle constituer une aide pédagogique dans le contexte actuel de polysémie croissante ?

1. SYMBOLIQUE ACTUELLE DES FLÈCHES ET LECTURE DES FLÈCHES DES ANCIENS

1.1 Diversité de la sémantique actuelle des flèches

Les flèches ont aujourd'hui une valeur symbolique dominante, indicatrice d'une orientation. Les dictionnaires actuels situent en 1835 l'apparition de cette signification, mais les encyclopédies du XIX^e siècle attribuent le vocable flèche aux seuls objets terminés en pointe et figures symboliques de la guerre ou de la chasse. C'est au XX^e siècle que les dictionnaires font référence au signe représentatif d'une direction spatiale et d'un déplacement de matière. Puis viennent les indications d'enchaînement dans le temps et de transformation. Le symbole a aujourd'hui d'autres significations, propres aux différentes sciences ; encore absentes des encyclopédies, elles témoignent du décalage de

temps entre l'emploi nouveau d'un signe d'écriture et son entrée dans les dictionnaires.

1.2 Incertitudes sur la signification des flèches des Anciens

La polysémie des flèches va globalement croissant de l'Antiquité à la Renaissance et de celle-ci à la révolution industrielle du XIX^e siècle et à nos jours. Mais, dans le détail, l'usage du symbole a varié dans le temps et la lecture actuelle des Écrits des Anciens pose des problèmes d'interprétation.

Les vestiges architecturaux de l'Antiquité romaine présentent une constante de frises constituées de flèches ou sagittas alternant avec des oves. Leur motif répétitif s'observe sur tout le territoire de l'Empire, de l'Orient jusqu'à la partie la plus extrême de l'Occident (fig. 1).

Des Archéologues et Historiens de l'Art du Moyen-Orient y voient l'évocation du cycle d'alternance de la vie et de la mort : c'est le cas, au Liban, pour les sculptures de Baalbeck ou de Byblos ; mais les chercheurs européens les décrivent comme des éléments de décor, au même titre que les flèches guerrières, à la signification non ambiguë. Auraient-elles perdu leur caractère symbolique ou ne l'ont-elles jamais eu ?

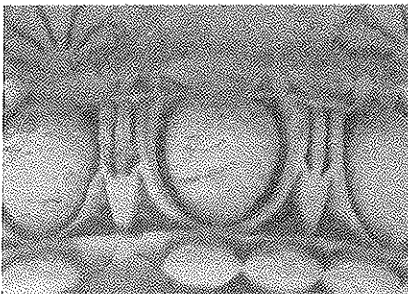
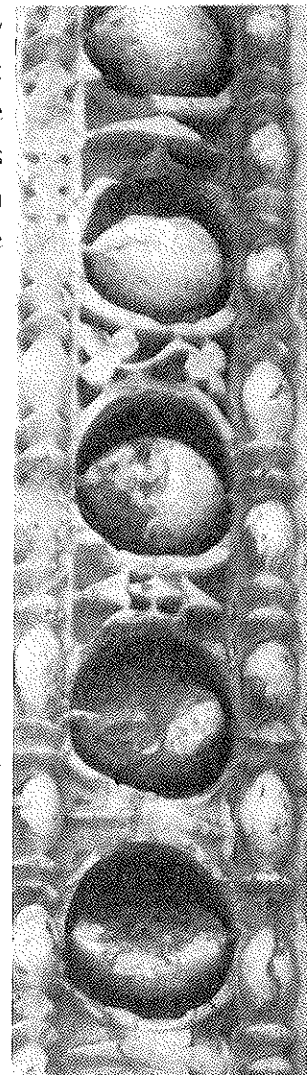


Figure 1. La flèche, motif architectural romain observé :

- au Liban, sur un portail à Baalbeck (ci-contre, à droite) et une corniche à Byblos (ci-dessus),
- en France, sur un chapiteau à Saintes (ci-contre, à gauche).



Au XVII^e siècle, G. Galilée participe à la transmission de la connaissance renaissante. Le frontispice de *dialogus de systemate mundi* de 1641 présente, issue d'un carquois, une flèche dont la pointe est orientée vers Copernic (fig. 2). Il est tentant de la voir symboliquement décochée en direction de celui que l'héliocentrisme oppose au géocentrisme d'Aristote et de Ptolémée. Elle marque aujourd'hui l'évolution irréversible de la connaissance et constitue une composante du *temps sagittal* que le Géologue américain Gould définit comme une *vision linéaire symbolisée par la flèche*.



Figure 2. Une flèche pointée comme l'index d'Aristote en direction de Copernic.

Analysant le frontispice de la *Telluris theoria sacra* de T. Burnett, ouvrage de 1680, Gould montre que *les globes sont disposés en cercle*. Il voit ainsi dérouter, à l'échelle de l'Histoire de la Terre, la *continuité narrative* (temps sagittal) dans un contexte de temps cyclique. Cette observation est possible à l'apex du frontispice de l'ouvrage de Galilée. Mais les représentations par Galilée du mouvement de la Terre dans sa révolution autour du Soleil et dans sa rotation sur elle-même comportent, pour seules flèches, les attributs du Sagittaire et de Mars qui ont valeur de symbole guerrier.

Au milieu du XIX^e siècle, un tuilier de Commercy crée une machine permettant de presser les tuiles violon, encore visibles aujourd'hui sur d'anciennes toitures. Outre leur forme caractéristique, elles présentent une flèche dont l'intérêt certain est de canaliser, entre elle et les autres surépaisseurs, l'eau pour l'empêcher de pénétrer entre les tuiles jointives (fig. 3).

Aujourd'hui, on pourrait y voir un autre intérêt consistant à orienter la pose. L'inventeur de la tuile violon a-t-il fait un usage implicite du symbole des flèches à une époque où, sur les toits, les girouettes indiquaient le sens du vent ? Son modèle a fait école dans l'Est de la France avec un dessin de flèche copié, parfois modifié ou remplacé dans les mêmes tuileries par une double pointe de flèche ou un losange assurant l'étanchéité. La valeur symbolique des flèches se serait-elle perdue avec le temps ?

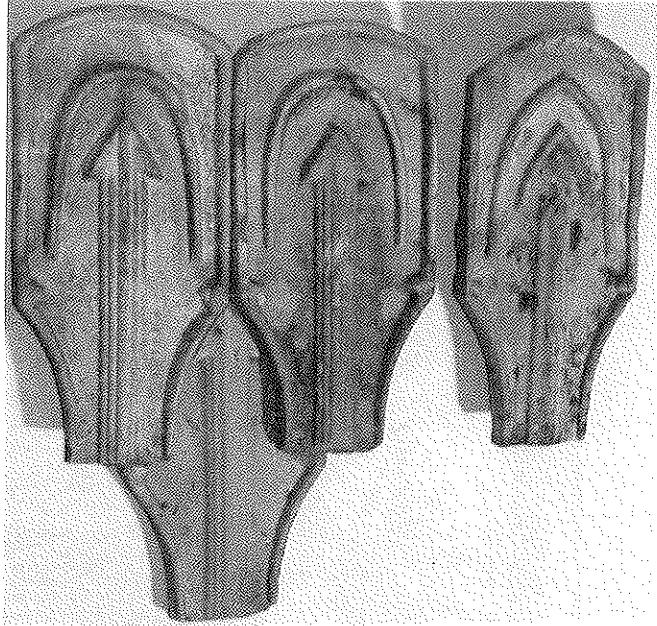


Figure 3. Flèches sur des tuiles violons, isolée et assemblées.

1.3 Évolution actuelle de l'emploi des flèches avec la maturation des concepts

Les Scientifiques actuels s'approprient rapidement l'outil-flèche en phase d'argumentation et celui-ci abonde dans les publications. Ainsi, dans la jeune science sylvigénétique, le cycle de renouvellement des forêts, à peine démontré, est enseigné dans les nouveaux manuels spécialisés en reliant par des flèches des dessins de portions forestières juxtaposés dans des éditions antérieures (fig. 4). La mise en relation didactique, par un enchaînement fléché, d'observations réparties dans l'espace, offre une visualisation, en un point, d'un cycle évolutif inaccessible à notre échelle des temps.

En phase de recherche, l'outil présente un caractère heuristique en ce qu'il n'exige pas d'explicitation immédiate de la sémantique correspondante. Mais, si la communication rapide du savoir en pleine évolution a lieu en l'absence de codage clair, de présentation du système de symboles destiné à transmettre les informations, le décodage des différentes flèches devient difficile. Ainsi en est-il des représentations actuelles du cycle du carbone, aux codes imbriqués, décelables à la lecture attentive du contexte mais dont la signification n'est pas précisée. Mêlant déplacements et transformations de matière en quantité plus ou moins grande, les flèches diffèrent par la couleur, par la forme, par l'épaisseur du trait et leur transposition dans les manuels scolaires donne lieu à des erreurs dont l'origine réside en partie dans cette absence de codage, face à l'évolution des concepts.

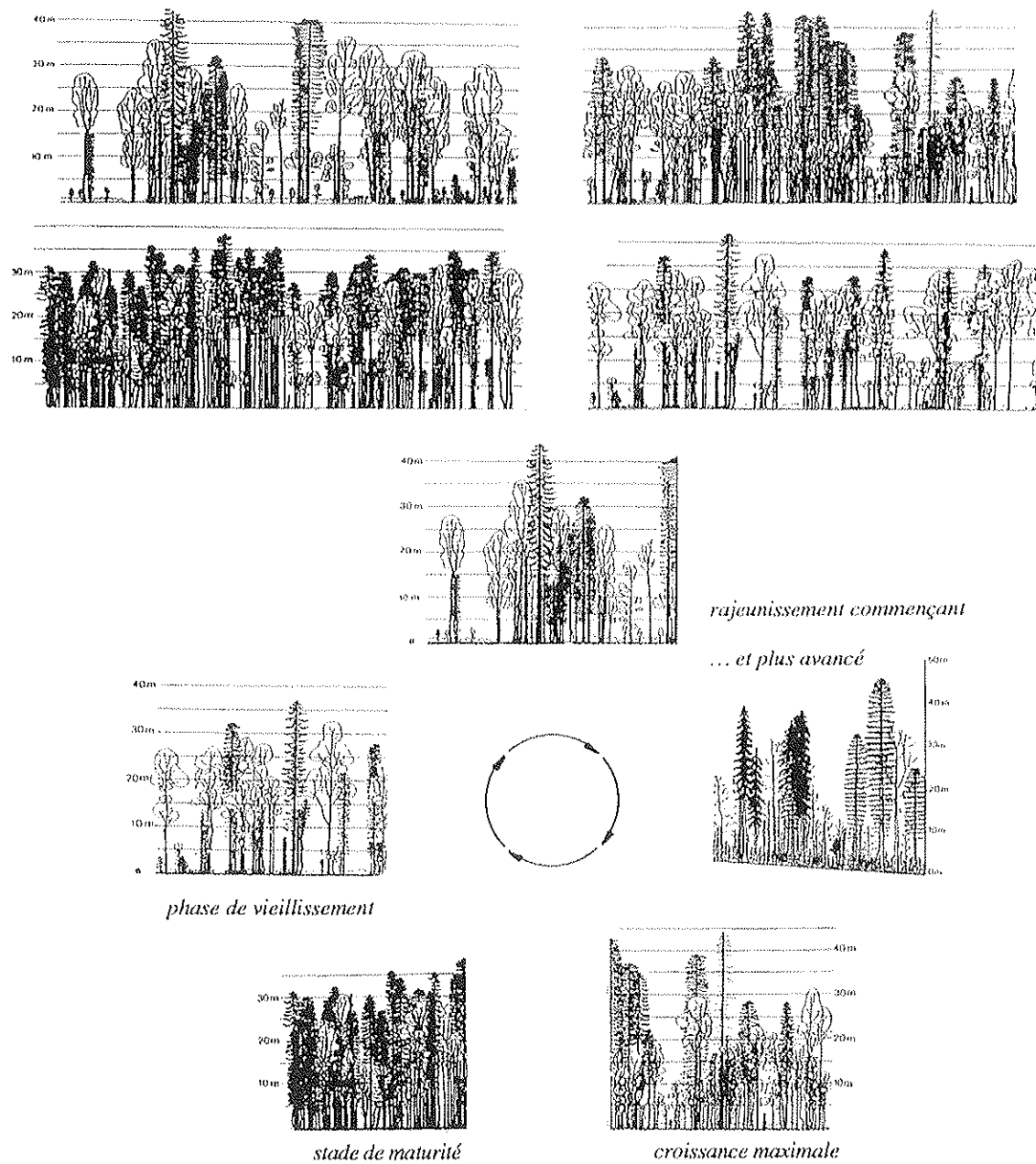


Figure 4. Enchaînement fléché (images du bas) par Remmert en 1991 : il met en relation temporelle des observations faites en différents points (images du haut) par d'autres auteurs dans les années 70 et dont il avait lui-même disposé linéairement les images en 1980.

2. POLYSÉMIE DES FLÈCHES DE L'ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES AU XVIII^e SIÈCLE

2.1 Objets et symboles ayant les caractéristiques de l'arme de jet

Objets droit terminés en pointe, les flèches comprennent un trait (de flèche) et une pointe (de flèche) et elles présentent souvent à l'arrière une penne ou aileron. L'acuité de la pointe a fait utiliser leur modèle pour construire l'aiguille aimantée des boussoles, encore appelée style ou index dans *l'Encyclopédie*. Mobile sur un axe, le trait donne une direction et la pointe précise le sens (fig. 5). Notons, sur la figure, l'existence de deux dessins où, aujourd'hui, on tend à n'en représenter qu'un, dynamisé par des flèches.

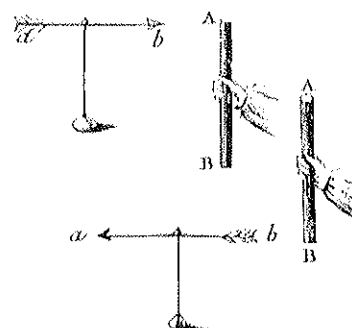


Figure 5. Objets en forme de flèche, sur une figure ayant rapport aux articles aimant et boussole (*Physique*, Pl. 4).

Un objet en forme de flèche non simplifiée sert aussi en optique pour orienter comparativement l'image obtenue (fig. 6). Dans *l'Encyclopédie* proprement dite, aux dessins souvent tirés des Mémoires de l'Académie des années 1730 ou 1740, les objets sont plus concrets encore ou indiqués seulement par des lettres. C'est dans le Supplément de 1780 que les dessins de flèches deviennent pratiquement constants ; encore ne concernent-ils pas la vision.

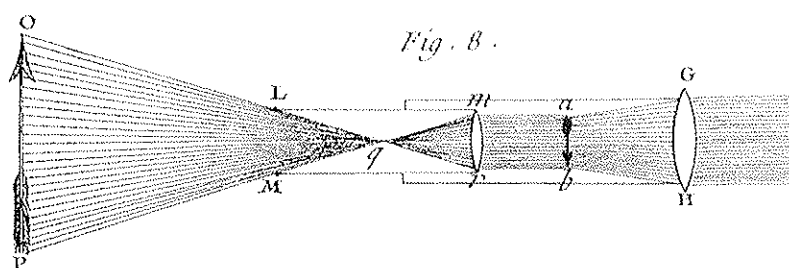


Figure 6. Objet et image en forme de flèche, sur un diagramme visant à expliquer l'effet du microscope solaire (*Optique*, suppl. Pl. 2).

Parmi les Planches consacrées aux Antiquités, un bouclier antique montre le Sagittaire représenté, de façon figurative, par l'Archer pointant sa flèche vers le Monde extérieur.

En Astronomie, parmi les signes du Zodiaque, le Sagittaire se reconnaît au dessin symbolique d'une flèche très simplifiée, comme elle l'était déjà dans le *Traité de Galilée*. La flèche participe également aux figurés symboliques du Scorpion, décochant sa flèche venimeuse, et de Mars, muni de son attribut guerrier (fig. 7).

La chimie s'inspire de ces symboles pour les caractères réunis en système organisé (aujourd'hui, on le dirait codifié). Certains de ces caractères chimiques comportent une flèche, comme pour l'Acier, mot qui signifie pointe, le Fer ou le Safran de Mars, du nom du Dieu de la guerre (fig. 7).

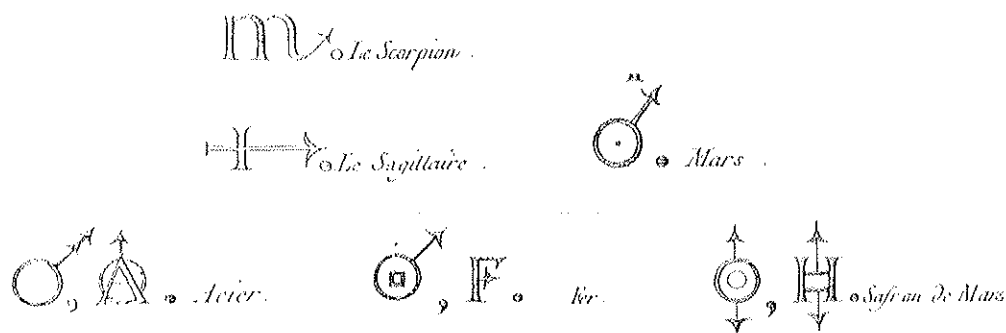


Figure 7. Flèches symboliques participant aux caractères des signes du Zodiaque et autres caractères usités en Astronomie (en haut, *Astronomie*, Pl. VII) et en Chimie (en bas, *Chimie*, Pl. I, II et III).

2.2 Dessins imitant une flèche pour orienter dans l'espace

Les Planches du Supplément consacrées aux Antiquités comportent des plans orientés d'anciens édifices. C'est le cas pour la situation des Ruines romaines de Baalbeck (fig. 8). La fleur de Lys y remplace la pointe de flèche utilisée sur d'autres plans de l'époque. Signe figurant une flèche et servant à indiquer un sens écrivent les dictionnaires qui le date un peu tardivement de 1835.

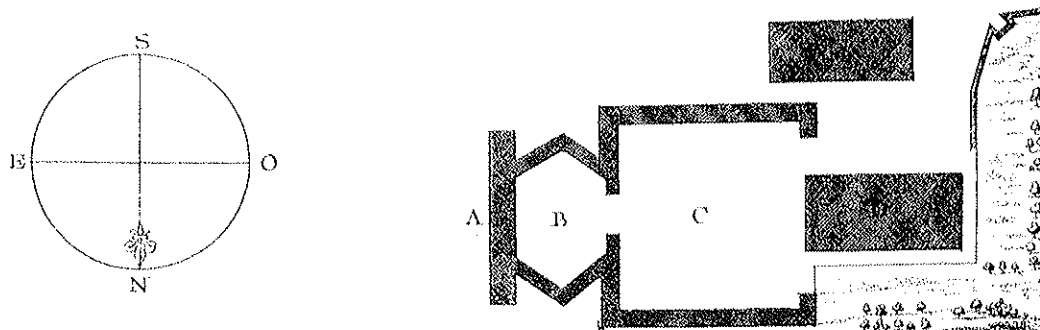


Figure 8. Trait de flèche muni d'une fleur de Lys pour orienter le plan des Ruines de Baalbeck (*Antiquités*, suppl. Pl. I).

En géographie, les cartes du Supplément, reprises des années 1760-1770, ne présentent pas de signe d'orientation. En revanche, il est intéressant de noter que les plans consacrés aux Arts des Mines sont régulièrement orientés par un trait de flèche muni ou non d'une pointe (fig. 9), rarement d'une penne.

2.3 Signe figurant une flèche et servant à indiquer le sens d'un déplacement de matière

En sciences, les flèches indiquant un déplacement de matière sont pratiquement absentes, sauf pour une l'indication technique telle que la translation rectiligne d'une pièce d'un appareil ou le déplacement des gaz dans les conduits de cheminée.

En Hydrodynamique, par exemple, l'eau en mouvement est matérialisée, comme en Géographie, par des traits fins plus ou moins serrés. En revanche, les auteurs des articles sur les Arts des Mines orientent généralement l'écoulement des eaux mûes, naturellement ou par des pompes, en surface ou en profondeur (fig. 9).

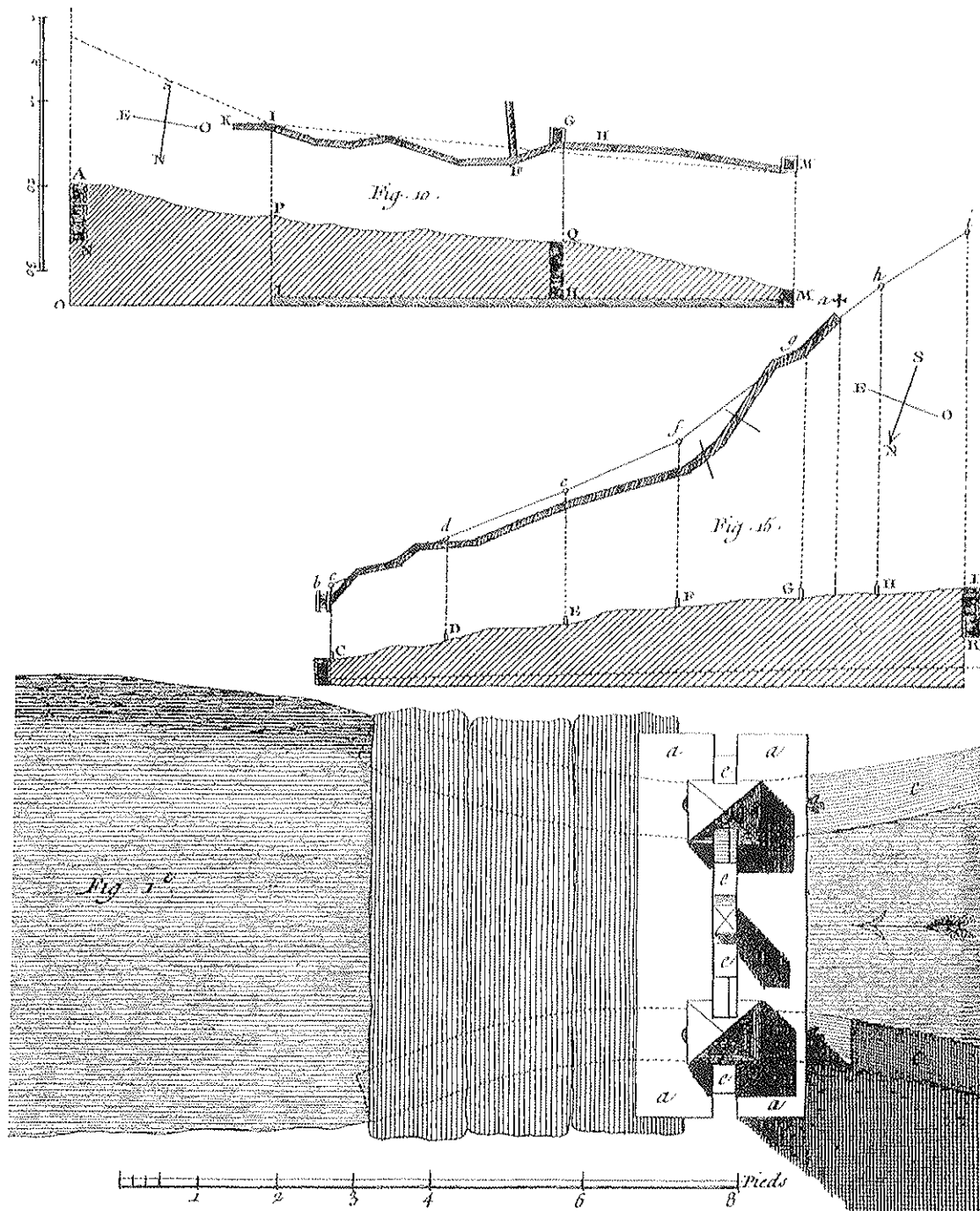


Figure 9. Traits de flèches, munis ou non d'une pointe pour indiquer la direction de galeries de mines pratiquement horizontales, apparemment rectilignes sur un plan vertical mais au tracé sinueux, dessiné au dessus de la coupe (en haut, Art des mines, Géométrie souterraine).

. Flèche au dessin figuratif servant à montrer, à vue d'oiseau, le sens d'écoulement de l'eau au franchissement d'une écluse (en bas, Art des mines, Minéralogie, Pl. V).

L'analyse d'ouvrages spécialisés d'auteurs de la seconde moitié du XVIII^e siècle, impliqués dans l'élaboration de *L'Encyclopédie*, montre un accroissement de l'emploi des flèches pour représenter un courant de *matière solide, liquide ou gazeuse* et même *électrique*. Ainsi en 1756, dans *l'Introduction au Traité complet des Bois et des Forests*, Duhamel, fait ce nouvel usage des flèches, précisant qu'elles indiquent *la direction, la route des vapeurs* auxquelles il soumet une plante. Ce code est peu à peu repris par d'autres sciences concrètes, telles l'Hydrodynamique et la Géographie qui se l'approprient selon un graphisme longtemps figuratif.

Les Mineurs utilisent des flèches pour indiquer en outre la direction des coupes et l'inclinaison des filons. Mais, si la signification des codes est rarement précisée, elle apparaît implicite grâce aux différences de formes des flèches associées aux différentes informations et grâce à la redondance des données pour un type de flèche : une observation qui ne peut surprendre dans un domaine où toute ambiguïté créerait, sur le terrain, des difficultés d'exploitation.

Les flèches les plus stylisées ont leur origine dans les sciences les plus anciennes mais les nouveaux codes, plus figuratifs, sont repris plus ou moins fidèlement dans les autres sciences. En 1779, dans ses *Principes d'hydraulique, une science utile*, Du Buat analyse les mouvements de l'eau dans le lit des rivières. Il dessine des flèches de même aspect figuratif pour indiquer le déplacement de l'eau et pour situer l'*index* permettant de repérer les niveaux d'eau. Cette imprécision tend à se généraliser dans les sciences parentes des Arts des Mines, telles que la géognosie, devenant géologie, où la flèche qui oriente, qui donne le sens, tend à prendre le pas sur celles qui donnent du sens sans que cela soit clairement exprimé. Ceci montre comment l'absence d'explicitation des codes entraîne des pertes de signification lors de leur transfert dans les sciences.

Mise à jour dans *L'Encyclopédie*, la polysémie des flèches crée des problèmes de lecture qui restent limités car jamais les flèches n'y signifient, comme aujourd'hui, une succession dans le temps et/ou une transformation de matière. Chaque science commence par juxtaposer et numéroter de façon analytique les étapes d'un phénomène évolutif ou un ensemble de phénomènes. Il faut attendre la fin du XIX^e et le début du XX^e siècle pour que ceux-ci soient enchaînés par des flèches. Cela suppose l'atteinte d'un degré de clarté assurant une telle construction dans des disciplines aussi diverses que la biologie et la géologie, la physique et la chimie. Cela suppose aussi la maîtrise de la nouvelle symbolique de l'outil-flèche : par exemple, quand en chimie les réactions exprimées par des égalités commencent à s'orienter par des flèches, le géochimiste Vernadsky introduit en 1924, au carrefour de deux sciences dynamiques, sa représentation moderne, fléchée, du cycle du carbone.

Ainsi, l'emploi du code scientifique des flèches dépend à la fois de l'évolution des concepts et du développement de l'outil qu'elles constituent. *L'Encyclopédie*, qui rassemble la connaissance des différentes sciences, témoigne d'une époque charnière de la polysémie, encore limitée, des flèches.

3. ÉVOLUTION DE L'EMPLOI DES FLÈCHES EN MILIEU SCOLAIRE

3.1 Indications dominantes dans les manuels du XIX^e siècle

Au début du XIX^e siècle, les livres de sciences pour les écoles utilisent les symboles de flèches les plus anciens.

Ainsi, en 1821, dans *l'Encyclopédie des enfants ou abrégé de toutes les sciences à l'usage des écoles des deux sexes*, R.-J. Masson illustre en *Cosmographie* les signes du Zodiaque et ceux qui servent à représenter les planètes. Comme dans les œuvres de Galilée, les codes fléchés de Mars, du Sagittaire et du Scorpion se reconnaissent sur le dessin du *Système de Copernic*. Comme dans les articles d'Optique de *l'Encyclopédie*, la flèche symbolise un objet orienté et son image au microscope. Mais en *Astronomie*, science qui nous apprend à connaître les mouvements et les révolutions des astres, l'auteur décrit les mouvements de matière par les mots : le mouvement est indiqué pour chaque planète par le cercle où elle se trouve. En *Physique*, science qui nous apprend les causes de tout ce qui se passe dans la nature, les mouvements sont définis et les trajectoires représentées sans flèches, y compris pour les rayons lumineux (fig. 10).

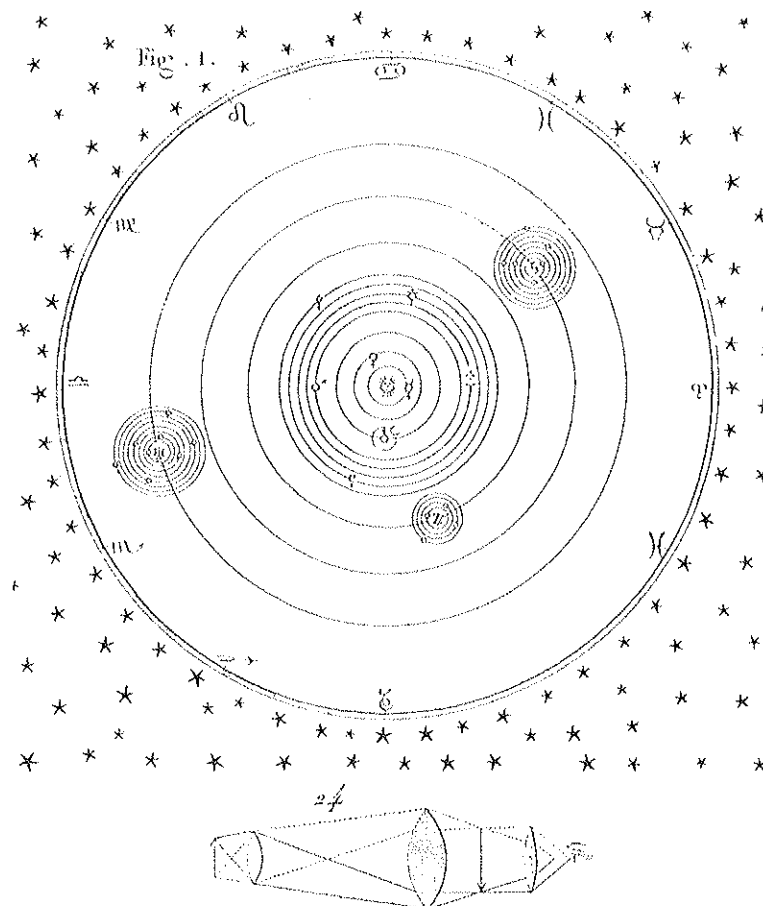
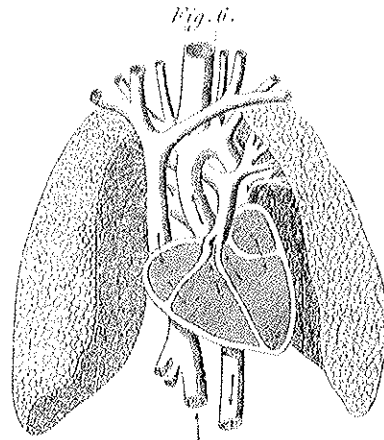


Figure 10. Flèches stylisées et/ou simplifiées, reprenant des codes anciens pour évoquer les symboles guerriers dans le cadre du *Système de Copernic* et pour orienter un objet vu au microscope (*Encyclopédie des enfants*, Pl. V et VI).

Dans les décennies suivantes, les Professeurs des Collèges royaux, des Facultés et du Muséum entraînent les classes de Baccalauréat dans l'emploi des flèches pour exprimer une dynamique spatiale.

Les livres d'Histoire Naturelle destinés aux Collèges Royaux et aux Écoles Normales Primaires orientent par des flèches à la signification implicite les mouvements de rotation et de révolution des planètes et la circulation du sang (fig. 11).

Figure 11. Flèches indiquant le sens de circulation du sang dans le cœur (Meissas 1840, Histoire Naturelle, Pl. I).



Avec le développement de la théorie cellulaire apparaissent dans les *Cahiers d'Histoire Naturelle* de 1845-1847 par Milne Edwards, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, et, plus généralement, dans les ouvrages des années 1840-1850, les mouvements protoplasmiques : *courants... dont la direction est indiquée par celle des flèches* précisent les auteurs pour expliquer l'orientation (ce dernier mot vient de naître mais n'est pas encore employé). Tout se passe comme si, seules, les dernières étapes de l'évolution de la connaissance appelaient une explicitation du code adopté.

Les codes implicites ne sont pas les mêmes dans les différentes sciences : les ouvrages de physique destinés au même public donnent, à la même époque, le sens des pressions, du courant ou des rayons lumineux par des flèches non codées, mais précisent quand les *flèches marquent le sens du mouvement de rotation*.

Dans tous les cas implicites et de façon plus inconstante dans les cas où le code est nouveau, le figuré tend à se simplifier, à se réduire à un trait et une pointe de flèche.

Dans les Cahiers de 1847, un commentaire accompagne la *coupe géologique servant à l'explication de la théorie des puits artésiens*. Dans l'Histoire Naturelle de 1778, destinée par A. Milne Edwards à la préparation au baccalauréat, il est remplacé par des flèches à signification implicite figurant l'infiltration dans le sous-sol de l'eau des précipitations. Mais les flèches ont disparu de la coupe du cœur ; elles ne subsistent que sur les *figures théoriques de la (double) circulation*. Des raisons didactiques font ainsi apparaître des flèches codées, dont le code devient rapidement implicite et qui finalement disparaissent, devenant elles-mêmes implicites, comme si l'implicite de l'auteur l'était également pour le lecteur.

Il en est de même pour les Professeurs de lycées, avec un décalage lié à d'autres savoirs. Ainsi, J. Langlebert, auteur d'ouvrages d'Histoire Naturelle, mais aussi de Physique produits à la même date et pour le même public que le précédent, montre le sens de circulation du sang dans le cœur : *les flèches indiquent le cours du sang dans ces différents vaisseaux* ; mais il ne précise pas le code de la flèche orientant objet et image pour expliquer le mécanisme de la vision.

Conformément à la progressivité qui caractérise l'enseignement de la physique dans les grandes classes, Langlebert ne place pas de flèche sur le tracé des rayons lumineux, en Histoire Naturelle. Dans la plupart des cours de Physique, on assiste en effet à l'introduction successive, après la flèche-objet, à l'orientation des rayons lumineux puis des lentilles convergentes, *dites à bords minces... représentées par une simple ligne... terminée par deux pointes de flèche*. Dans certains livres, le fléchage des rayons lumineux apparaît cependant en premier, mais les objets orientés sont temporairement représentés par des bougies : une maîtrise didactique significative d'un savoir maîtrisé.

En 1885, dans l'édition d'Histoire Naturelle consécutive au renouvellement des programmes, aucune incidence du nouveau savoir ne se manifeste sur la sémantique des flèches de Langlebert. A une époque où la nouvelle signification du code, évocatrice d'un phénomène évolutif s'entrevoit à peine, la reproduction sexuée des Végétaux est connue depuis trop peu de temps pour donner lieu à un enchaînement fléché. Dans les années 60 et 70, à la suite de la démonstration par Pringsheim, en 1854-1856, du *mélange de la substance des spermatozoïdes et de l'ovule* chez les Algues, les Biologistes allemands ont généralisé la définition de la fécondation mais ils expliquent la reproduction en numérotant les étapes juxtaposées de façon analytique. Langlebert produit aussi des dessins juxtaposés, plus souvent isolés conformément à ses incertitudes : dans l'édition de 1885, les *anthérozoïdes* remplacent *la matière visqueuse* mais leur sort reste flou dans *le phénomène mystérieux de la fécondation*.

3.2 Développement d'un sens nouveau au début du XX^e siècle

À l'aube du XX^e siècle, l'enseignement primaire supérieur et le second cycle des lycées s'ouvrent à l'emploi des flèches pour exprimer une transformation ou un devenir, dans une dynamique de temps.

Dès 1896, en dernière année de l'enseignement primaire supérieur, A. Daguillon, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris, utilise la flèche pour lier les étapes de la reproduction sexuée dans un domaine scientifique enfin maîtrisé : un résumé de même type oriente la lecture à la suite de l'étude des éléments du cycle de développement des Mousses et des Fougères. Opérée par cet universitaire, la transposition généralisante de la fécondation passe rapidement dans les grandes classes : *la fusion d'un anthérozoïde avec un oosphère donne lieu à un œuf*.

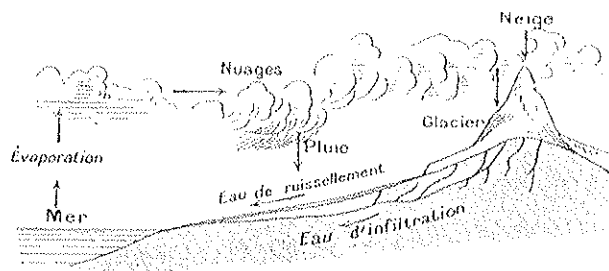
Mais, quand une notion nouvelle se développe, l'usage des codes plus anciens domine. C'est le cas pour la division cellulaire décrite par Strasburger en 1876. Absente, évidemment, du Plan d'étude des lycées de 1874 pour les classes du baccalauréat qui comprend *l'Organisation comparée des animaux et des végétaux*, elle manque encore dans le programme de 1885 : *Caractères généraux des animaux... Caractères généraux des végétaux...* ce qui n'empêche pas Langlebert d'introduire dans son nouvel ouvrage des dessins numérotés pour montrer la *multiplication des cellules*.

En 1883, le Biologiste Van Beneden décrit le comportement des chromosomes mais le programme de 1890-91 reste sans changement dans le domaine considéré. Comme aujourd'hui, les auteurs ont tendance à anticiper sur les programmes : L. Mangin dessine les *phases diverses* de la division cellulaire qu'il juxtapose et numérote. En 1912, le nouveau programme s'écrit enfin : *éléments constitutifs des animaux ; leur multiplication*. En 1914, Caustier représente la division cellulaire en détaillant les chromosomes. Des flèches non codées suggèrent leur déplacement de façon implicite mais, comme dans la plupart des manuels de cette époque, l'orientation des flèches n'est pas codée. L'enchaînement fléché des différentes phases manque et manquera encore longtemps, d'autant que les résumés se perdent dans ces classes à partir de cette date. Conformément à l'histoire du code, la dynamique d'espace se révèle plus immédiate que la succession dans le temps.

L'histoire de l'emploi de l'outil dans son sens nouveau se lit facilement dans la construction du cycle de l'eau qui entre en force dans la géologie et la physique de la classe de seconde et de l'enseignement primaire supérieur.

En 1904, M. Boule, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, introduit ses *conférences de géologie* pour la seconde par un résumé du cours du premier cycle, où il illustre le cycle *circulatoire* de l'eau par le *schéma*, devenu classique depuis, *de la circulation de l'eau à la surface et dans l'intérieur de la terre* (fig. 12).

Figure 12. Flèches introduites pour exprimer le cycle circulatoire de l'eau (Boule, 1904, *Conférences de géologie*, fig. 3, p. 10).



En 1905, Caustier, Professeur de lycée, construit, en *révision* pour la seconde également, un schéma comparable au précédent en dépit d'une image faussée de la circulation de l'eau d'infiltration. Il résume la *circulation de l'eau dans la nature* par un enchaînement plus abstrait encore de mots : un résumé de résumé, en somme (fig. 13).

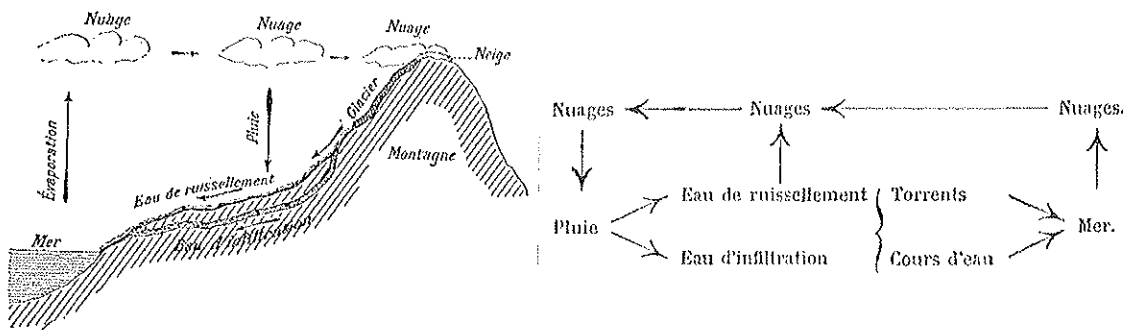


Figure 13. Flèches reliant des images et des mots puis, en miroir, seulement des mots (Caustier, 1905, *Conférences de géologie*, fig. 26, p. 30 et résumé p. 61).

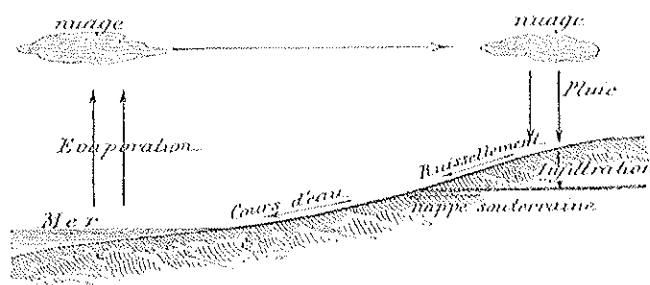
L'enchaînement fléché illustré est repris, avec plus ou moins de bonheur, par les auteurs suivants, en Physique et en Histoire Naturelle, dans l'enseignement primaire supérieur et dans le second cycle des lycées. Avec la suppression des résumés, il entre à l'intérieur des chapitres : une intégration facilitée par la quasi superposition de la dynamique d'espace de la circulation de l'eau à la dynamique de temps du cycle de l'eau.

Plus généralement, un comptage portant sur les différentes illustrations des manuels de ces deux types de classes montre la priorité donnée aux flèches servant à orienter sur celles qui mettent en relation temporelle. L'enseignement primaire supérieur a l'avantage de développer les mêmes concepts sur les trois années du cycle d'études. L'édition de 1910 des manuels du même auteur pour les classes successives confirme l'antériorité de la représentation de la dynamique spatiale pour ces concepts.

Au début du XX^e siècle, les enchaînements fléchés naissent aussi précocement dans les ouvrages du premier cycle et dans ceux du brevet élémentaire, quand la dynamique d'espace se superpose à une dynamique de temps.

En 1904 dans son livre pour la classe de quatrième, Daguiillon clôt l'étude de l'action de l'eau *résumée en quelques mots* par la *circulation de l'eau dans la nature* (fig. 14). Le cadre de référence de son schéma est moins vaste que celui de Caustier pour la classe de seconde, car sans reliefs importants donc sans eau à l'état solide. Il est surtout plus réaliste pour la flèche entraînant l'eau d'une nappe souterraine, régulatrice du cycle en plaine, contrairement à la représentation fléchée abusive de l'image de rivière souterraine du schéma précédent. Ce n'est pas la signification de l'outil-flèche qui est en cause, mais ce que l'auteur lui fait dire, source d'extension erronée encore présente aujourd'hui dans des manuels.

Figure 14. Flèches participant à une construction simple mais réaliste de la circulation de l'eau (Daguiillon, 1904, *Notions de géologie*, fig. 35, p. 58).



À la même date, la classe de septième a pour programme : *Les trois états de l'eau. Idée générale de la circulation de l'eau*. G. Bonnier utilise la flèche pour orienter le devenir de l'eau sur des images *dessinées spécialement*. Cadrées localement, étape après étape, elles participent à une construction de la *circulation de l'eau dans la nature* énoncée par les mots, sans cadrage général fléché dans le résumé.

En 1898, Bonnier dessinait déjà des flèches pour boucler, sur les figures en sixième, la circulation du sang : une dynamique plus accessible. Présentant le manuel de 1902, il avertit : *de nombreux résumés simplifiés empêchent l'élève de se perdre dans les détails...* et il clôt ainsi le chapitre sur la circulation en liant les mots par des flèches.

Bonnier introduit aussi, à la suite de la bougie, une flèche pour expliquer la formation des images dans l'œil. Mais il isole, puis juxtapose en les numérotant, les étapes du développement des animaux où seule intervient une dynamique de temps. L'analyse des ouvrages de Caustier et des autres auteurs conduisent pratiquement aux mêmes conclusions : dans les petites classes du lycée, le nouvel outil sert pour les dynamiques spatiales comme le sens de circulation du sang, voire de l'information dans les synthèses sur *le réflexe*.

D'autres exemples plus récents confirment que les enchaînements dans le temps s'installent rapidement quand la succession des événements se confond avec un déplacement de matière : ainsi, dans les années 30, Boulet et Oubrède ou Dalbis et Chauvet, en classe de troisième ou en préparation du brevet élémentaire, résument la digestion dans un tableau associant parcours et transformation des aliments, comme E. Brucker l'avait fait pour la classe terminale en 1925. Il en est de même, en chimie et surtout en sciences naturelles, pour les cycles du carbone et de l'azote dont les flèches non codées peuvent signifier va vers et/ou donne ou bien devient, à une époque où les réactions chimiques s'écrivent encore dans les manuels par des égalités. La flèche tend alors souvent à devenir un passe-partout dans des schémas dynamisés qui renforcent des représentations faussées par l'amalgame, dans un même cadre, de faits appartenant à des cadres de référence différents. Les Sciences Naturelles du brevet élémentaire par Brémant, en 1927, en donne un exemple, avec un schéma fléché du cheminement des sèves à l'échelle de l'organisme, abusivement titré : *transformation de la sève brute en sève élaborée*.

Orientation des forces et des poussées, mouvements rectilignes et curvilignes, déplacements de matière et rayons lumineux, échanges de molécules et transformations chimiques : face à cette complexification de la sémantique des flèches avec le temps, l'absence de codage nuit à la structuration des concepts dans le premier cycle du lycée.

3.3 Polysémie et imprécision des codes au XX^e siècle

Au XX^e siècle, les manuels de sciences pour les écoles brassent différents usages des flèches, ce qui, en l'absence de codage, constitue une source de confusion.

À la fin du XIX^e siècle, depuis les années 1860 où elles faisaient leur entrée dynamique dans les livres d'écoles pour animer les planètes, les flèches ont envahi peu à peu les dessins de Physique et d'Histoire Naturelle de l'école élémentaire.

Dans les premières décennies du XX^e siècle, des réformes simplifient les programmes. La volonté *d'exercer l'esprit d'observation des enfants... sur des objets qu'on leur montre...* se traduit par un renforcement de la monosémie de la flèche dans les ouvrages de Bonnier, auteur des leçons de choses en *division élémentaire des lycées* : en classe de huitième, les seules flèches servent à expliquer le mouvement de la mâchoire inférieure des Mammifères.

Mais, dans les décennies suivantes, les manuels de l'enseignement primaire

exploitent, pour beaucoup, une panoplie de flèches dont l'absence de code crée des obstacles d'autant plus grands que les sciences physiques et naturelles y sont associées mais cloisonnées. L'usage de ces flèches aux codes inexprimés peut paraître justifié à un spécialiste ; mais les flèches pennées, concessions apparentes au concret, ont même valeur, dans ces ouvrages, que d'autres flèches, simples ; et il faut remonter dans le temps des auteurs et des éditions pour avoir des chances de trouver leur signification, non implicite pour les jeunes élèves. Ainsi, en 1882, Brémant expliquait dans le livre de Sciences Physiques du Brevet Élémentaire : *en physique, on représente une force par une flèche qui commence au point d'application... et dont la longueur varie proportionnellement à l'intensité*. Ces explications, inadaptées aux élèves de l'école élémentaire, sont évidemment absentes des livres des années 20 et 30 qui leur sont destinés ; mais les illustrations fléchées correspondantes, héritées de l'ancien ouvrage, sont reprises telles quelles, avec d'autres qui ajoutent à la confusion : une confusion durable car les changements de programmes restent longtemps sans incidence sur ces manuels scolaires. Ceci ne vaut heureusement pas pour tous les auteurs (fig. 15).

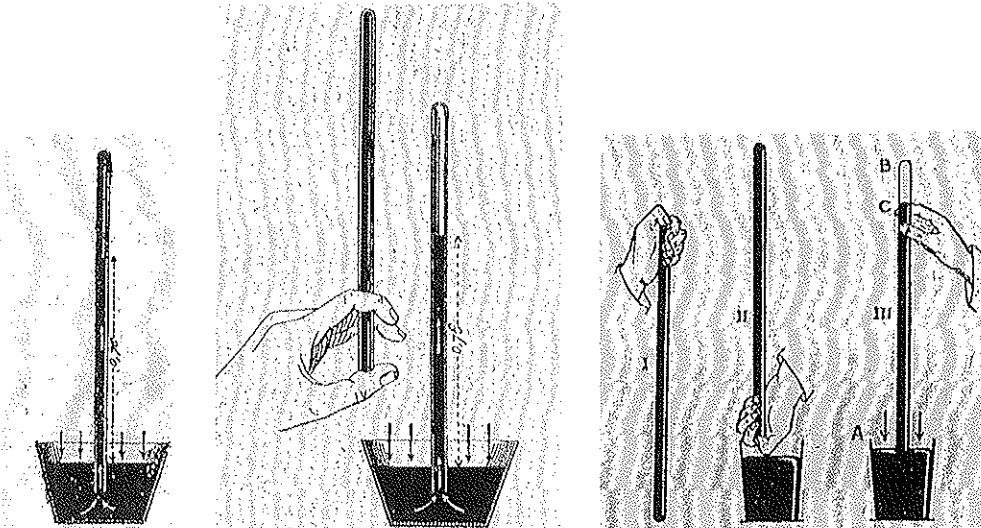


Figure 15. Flèches non codées, à sémantique différente, illustrant plus ou moins clairement une présentation d'expérience à l'école élémentaire (de gauche à droite : Brémant, 1893, fig. 199 et Brémant-Peschard, 1911 à 1934, fig. 39, tube de Torricelli, Boulet-Chabanas, 1934, fig. 1, expérience de Torricelli).

À la fin des années 30, dans un *résumé par le croquis*, Jolly dynamise enfin par des flèches l'espace et le temps des *métamorphoses du Hanneton*, dans et hors du sol. Un éventail limité de flèches facilitait l'analyse des manuels scolaires les plus anciens, mais la polysémie croissante de l'outil tend à rendre la lecture sémantique de plus en plus aléatoire. L'élève rencontre l'auteur d'un livre dans un cadre de référence commun précis, avec un degré de polysémie des flèches et un niveau de formulation des concepts qui dépend, avant tout, de son savoir préalable, donc de son cadre de lecture. Mais le savoir englobant de l'élève et de l'auteur, autrement dit leur cadre de lecture diffèrent. Les flèches de l'auteur sont invalides pour les élèves quand elles ne peuvent entrer dans leur cadre de lecture.

Aujourd'hui, les diverses significations entrent en interaction croissante chez les

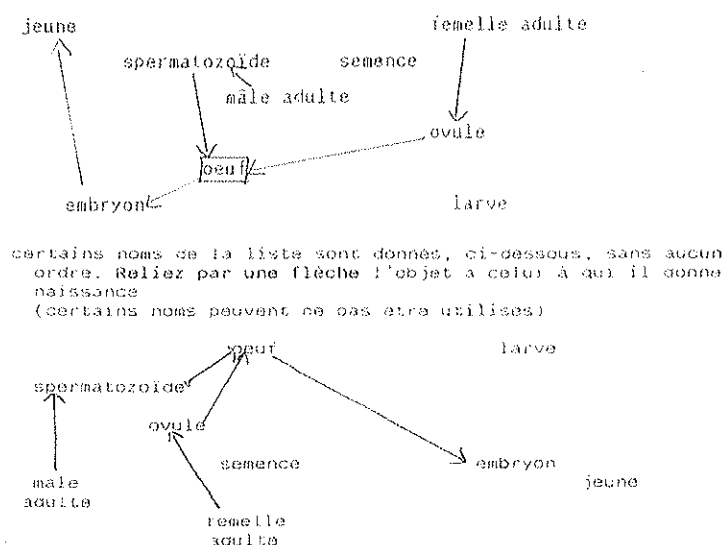
élèves, dans l'apprentissage de l'emploi des flèches.

Dans l'usage des flèches, la définition du codé et du cadre de référence du ou des concepts illustrés s'impose. Ainsi, pour boucler la mise en relation fléchée des composants du cycle de matière, l'élève passe du cadre des organismes à celui des corps chimiques en remplaçant le code de la relation mange par celui de la relation est mangé par. Faute d'explicitier ce changement, il risque de faire manger le non vivant !

Un suivi individuel de nombreux élèves a eu lieu pour les encourager à coder les flèches utilisées, y compris celles exprimant une succession dans le sens de précède, donne, produit, se transforme en, va vers, passe par... Il a montré que, pour un concept nouveau, la juxtaposition réapparaît spontanément avant les enchaînements fléchés et l'idée de mouvement avant le devenir.

Pour accéder aux codes implicites des élèves, un exercice a fait le point sur les acquis précédant l'étude de la reproduction en classe de quatrième. 45 élèves devaient relier des mots par une flèche signifiant *donne naissance à...* Un élève sur quatre trace durablement une flèche du spermatozoïde vers l'ovule, d'autres figurent ce mouvement avant de le gommer pour exprimer le devenir. Le même exercice est effectué par 98 nouveaux élèves, observés en action. Pour éviter l'apparente facilitation créée par la disposition des mots, une répartition nouvelle est proposée. Cela change peu la proportion d'élèves - un sur trois - qui tracent une flèche du spermatozoïde vers l'ovule, pourtant éloigné. Plusieurs fléchages suivent même le chemin du spermatozoïde à l'œuf, à l'intérieur de la femelle. Mais, contrairement à l'exercice précédent, un élève sur sept intercale le mot *semence* sur le trajet du mâle au spermatozoïde : la proximité de ce terme du vocabulaire extrascolaire influence le résultat. Et pour s'orienter dans la recherche, un quart des élèves associent les mots homologues, mâle et femelle adultes, spermatozoïde et ovule, en les encadrant d'un trait de couleurs ou en les reliant par une flèche à double pointe : le désordre des mots a induit un transfert heuristique du symbole d'équivalence codifié - un mot récent - en mathématiques.

Figure 16. Deux exemples de fléchages réalisés par deux élèves de quatrième, pour mettre en relation de succession des mots, différemment disposés, du cycle de reproduction sexuée.



CONCLUSION

L'éventail sémantique des flèches résulte de la diversification de l'outil au cours de l'Histoire des Sciences et des individus. Certains spécialistes mettent en relation, par des flèches codifiées, les concepts en phases de recherche et de communication. Mais, dans les échanges didactiques mettant en jeu une dynamique spatio-temporelle complexe, l'outil est surexploité en l'absence de codage. Or, l'appropriation de la méthode de fléchage dépend des savoirs en présence. Les flèches participent à la (re)construction des concepts si, et seulement si, les significations mises en œuvre par l'émetteur sont adaptées aux outils et concepts en présence, à ce moment, chez le récepteur. Le codage des flèches précise le cadre de référence des concepts qui les rend valides si ce cadre entre dans le cadre de lecture du récepteur. En l'absence de concepts mettant en jeu une dynamique de temps, l'outil risque de ne pas progresser au delà de l'usage couramment adopté d'une dynamique spatiale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLARD A.- Cours méthodique de Sc. phys. et Nat., CM, CS.- Belin, 1914.
 AUBERT E.- REIGNIER A.- Nouvelle Hist. Nat. Él., Ens. Pr. Sup.- André, 1910.
 AWAD J.- Baalbeck dans l'Histoire.- Baalbeck : Awad, 1990.
 BAILLON H.- Cours Él. de Botanique, Cl. de 4^e.- Hachette, 1882.
 BONNIER G.- Éléments de Zoologie, Cl. de 6^e.- Dupont, 1898.
 BONNIER G.- Zoologie Él., Cl. de 6^e.- Librairie Générale de l'Ens., 1902.
 BONNIER G.- Leçons de choses, Cl. de 7^e.- *Ib.*, 1902.
 BONNIER G.- Leçons de choses, Cl. de 8^e.- *Ib.*, 1902, 1913.
 BOUANT É.- Leçons de Chimie, Cl. de Math.- Alcan, 1903.
 BOUANT É.- Cours de Physique.- *Ib.*, 1905.
 BOULE M.- Conférences de Géologie, Cl. de 2^e.- Masson, 1904.
 BOULET V., CHABANAS C.- Leçons de Sc., CM, CS, C. d'Ét.- *Ib.*, 1932 à 1940.
 BOULET V., OBRÉ A.- Sc. Nat., Cl. de 3^e.- Hachette, 1938, 1940.
 BRÉMANT A.- Les Sc. Phys. du Brevet Él.- Hatier, 1882, 1884.
 BRÉMANT A.- Les Sc. Phys. et Nat. du C. d'Ét.- *Ib.*, 1891, 1893.
 BRÉMANT A.- Les Sc. Nat. du Brevet Él.- *Ib.*, 1917, 1927.
 BRÉMANT A.- Sc. et Ens. Ménager, CM.- *Ib.*, 1911, 1923, 1926, 1930.
 BRÉMANT A., PESCHARD M.- Les Sc. Phys. et Nat., CS.- *Ib.*, 1934.
 BRUCKER E.- Anat. et physiologie, Cl. de philo. et math.- Larousse, 1925, 1929.
 CAUSTIER E.- Hist. Nat. appliquée. Cl. de 3^e B.- Nony, 1903.
 CAUSTIER E.- Conférences de Géologie, Cl. de 2^e.- Vuibert - Nony, 1905.
 CAUSTIER E.- Sc. Nat., Cl. de Philo. et Math.- Vuibert, 1912, 1914.
 CAUSTIER E.- Zoologie, Cl. de 6^e.- *Ib.*, 1923.
 DAGUILLON A.- Cours complet d'Hist. Nat., Éc. Pr. Sup.- Belin, 1896.
 DAGUILLON A.- Notions de Géologie, Premier cycle.- *Ib.*, 1904.
 DALBIS L.-J., CHAUVET P.- Sc. Nat., Brevet Él.- Paris : de Gigord, 1930.
 DIDEROT D., ALEMBERT J. d'.- *Encyclopédie* (Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers).- Briasson, David, Le Breton, Durand, 1751-1765, 1770-80.
 DRINCOURT E., DUPAYS C.- Cours de Physique, Cl. de 2^e.- Colin, 1891.
 DUNAND M.- Byblos, son histoire, ses ruines.- Paris : Maisonneuve, 1973.
 DUTILLEUL J., RAMÉ E.- Sc. phys. et Nat., CP, CE, CM.- Larousse, 1910, 1912.
 EISENMENGER G., COUPIN H.- Man. de Sc. Nat., Ens. Pr. Sup.- Nathan, 1920.
 EISENMENGER G., COUPIN H.- Le corps humain, Cl. de 3^e.- *Ib.*, 1928.
 FABRE J.-H.- Éléments d'Hist. Nat., Cl. de 4^e.- Delagrave, 1882.
 FAIDEAU F., ROBIN A.- Hist. Nat., Ens. Sec. 1^e, 2^e années.- Larousse, 1897, 1898.

- FAIDEAU F, ROBIN A.- Hist. Nat., Ens. Pr. Sup.- *Ib.*, 1920.
- FERNET É.- Cours de Physique, Cl. de Philo.- Masson, 1885.
- FRAYSSE A.- Cours d'Hist. Nat., Ens. Pr. Sup.- Hachette, 1920.
- GANOT A.- Traité Él. de Physique, Facultés.- Auteur, 1874.
- GARRIGUES J.- Simples lectures sur les Sc., Écoles.- Hachette, 1891.
- GOULD S.-J.- Time's arrow, times's cycle, Aux racines du temps.- Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press, Paris : Grasset, 1987, 1990.
- HAGUENAUER C.- Comprendre par les cycles et les cycles pour apprendre ou *le concept de cycle, indicateur de la connaissance, des Sciences de la Nature à l'Écologie Forestière*.- Thèse Univ. Nancy 1, 1991.
- HAGUENAUER C.- Connaissance de la Vie et de la Terre par les cycles : conceptions et application à l'enseignement des sciences biologiques et géologiques.- Hab. à diriger des recherches Univ. Nancy 2, 1994.
- HAGUENAUER C.- La flèche, outil transposable dans les sciences in *L'alphabétisation scientifique et technique*.- Actes XVI^{es} journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifique et technique.- Chamonix : Giordan A., Martinand J.-L., Raichvarg D., pp. 261-266, 1994.
- HAGUENAUER C.- Le recyclage, un concept actuel pour comprendre une science du passé tournée vers l'avenir.- In *Aster n° 21 : recherches en didactique des sciences expérimentales : enseignement de la géologie*.- Paris : INRP, pp. 89-102, 1995.
- HAGUENAUER C.- Frame of reference of concepts within the evolving reading frame from the example of cycles in Biology in *The new learning models*.- Nice : Giordan A., Girault Y., pp. 91-108, 1996.
- HALLÉ F, OLDEMANN R.- Tropical trees and forests.- New-York : Springer, 1978.
- JOLLY R.- Les Sc. par le croquis et l'observation, CM, CS, C. d'Ét.- Nathan, 1939.
- JOLLY R.- Les leçons de choses et exercices d'observation, CM, CS.- *Ib.*, 1946.
- JUSSIÉU L. de.- Simples notions de Phys. et d'Hist. Nat., Écoles.- Delagrave, 1869.
- FRAYSSE A.- Cours d'Hist. Nat., Ens. Pr. Sup.- Hachette, 1920.
- LALANNE J.-B, BIDAULT.- Les Sc. à l'École Pr., CM, CS.- Bibloth. d'Éd., 1899.
- LANGLEBERT J.- Physique, *Ib.*
- LEDOUX P.- Cours de Sc. Phys. et Nat, CM, C. d'Ét.- Hachette, 1922
- MASSON J.-R.- Encyclopédie des enfants à l'usage des Écoles.- Masson, 1821.
- MANGIN L.- Anatomie et Physiologie, Cl. de Philo. et Math.- Hachette, 1890, 1891.
- MEISSAS N.- Résumés d'Hist. Nat.- de Perisse, 1840.
- MILNE EDWARDS A., COMTE A.- Cahiers d'Hist. Nat., Coll.- Masson, 1846-47.
- MILNE EDWARDS A.- Précis d'Hist. Nat., Baccalauréat ès Sc.- *Ib.*, 1878.
- OLMER L.-J.- Physique, Cl. de 1^{re}.- de Gigord, 1928.
- OLMER L.-J.- Chimie, Cl. de Philo.- *Ib.*, 1938.
- PASTOURIAUX L.- Leçons de Chimie, Éc. Pr. Sup.- Delagrave, 1923, 1934.
- PASTOURIAUX L.- Leçons de Chimie, *Ib.*, 1923.
- PASTOURIAUX L.- Chimie, Écoles Normales.- *Ib.*, 1932.
- PERRIER E.- Éléments de Zoologie, Cl. de 6^e.- Hachette, 1887.
- PETIT E.- Cours rationnel de Sc. phys. et Nat., CM, CS.- Librairie Éd. Nat., 1908.
- REMMERT H.- The mosaic-cycle concept of ecosystems.- New-York : Springer, 1991.
- SACHS J.- Lehrbuch der Botanik.- Leipzig : Engelmann, 1874.
- SEIGNETTE A.- Cours Él. de Géologie, Cl. de 5^e.- Hachette, 1894.
- TARDY D.- Le décor architect. de Saintes Antique.- Bordeaux : Éd. du CNRS, 1989.
- TOURAIN F.- Leçons de choses, CE.- Istra, 1930.
- TOURAIN F.- Éléments de Sc. phys. et Nat., CM, CS.- *Ib.*, 1931.
- TURPAIN A.- Éléments de physique, Cl. de Philo. Vuibert, 1913.