

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Les analogons et la maquette didactique

Sophie RENÉ DE COTRET, Réal LAROSE

Université de Montréal
Faculté des sciences de l'éducation
Département de didactique
C.P. 6128, Succursale "A"
Montréal (Québec)
H3C 3J7 Canada

Résumé

L'étude de "l'analogique", soit comme matériau de communication, soit comme processus cognitif, offre des possibilités novatrices tant pour la formation des maîtres que pour celle des élèves en sciences. La maquette didactique, utilisant l'analogie (sur le plan de la communication et sur celui des processus cognitifs) constitue à notre avis un outil didactique privilégié. Le présent article fait part de la création d'un nouveau cours adressé aux maîtres en formation initiale ou continue. Ces derniers doivent élaborer une maquette de leur invention en s'appuyant sur un cadre théorique relativement nouveau pour la didactique.

Mots clés : *analogie, induction, maquette, didactique, sciences.*

Abstract

Analogical thought offers, we think, a great potential for the teaching and learning of sciences. We therefore want to create didactical devices that can be used as models to help the development of knowledge through ana-

logy. In this paper we will first present the theoretical framework supporting this innovation, and then present some models made by teachers involved in a masters course in science education.

Key words : *analogy, induction, model, didactics, science.*

INTRODUCTION

Le titre n'est pas très éloquent, d'accord. Mais peut-être aura-t-il au moins piqué la curiosité du lecteur qui voudra savoir ce qu'est un analogon ? Il ne s'agit ni d'une maladie contagieuse ni d'une créature imaginaire, quoique... Les analogons sont des pièces significatives entrant dans la composition d'une construction analogique. Un exemple où il s'agit d'expliquer la rotation automatique du rachis lors de l'inflexion latérale va immédiatement situer le contexte et préciser le sens des propos du présent article.

Lorsqu'une personne se penche sur le côté, les vertèbres de la colonne tournent sur elles-mêmes ; les épines vertébrales vont vers la concavité et les corps vertébraux vers la convexité de la courbure. Cette rotation automatique est produite entre autres par l'effet de la compression des disques entre les vertèbres. Un modèle mécanique (figure 1) tiré de Kapandji (1975, p. 43) recrée le phénomène en utilisant des bouchons de liège taillés en coin (analogons des corps vertébraux) et du caoutchouc mousse (analogons des disques), ces éléments étant collés ensemble de façon à réaliser une maquette de la colonne vertébrale. Le tracé d'une ligne médiane représentant les épines vertébrales sur les "bouchons-vertèbres" permet, lorsque le modèle est incliné, de visualiser la rotation grâce au décalage des segments de la médiane d'une vertèbre à l'autre.

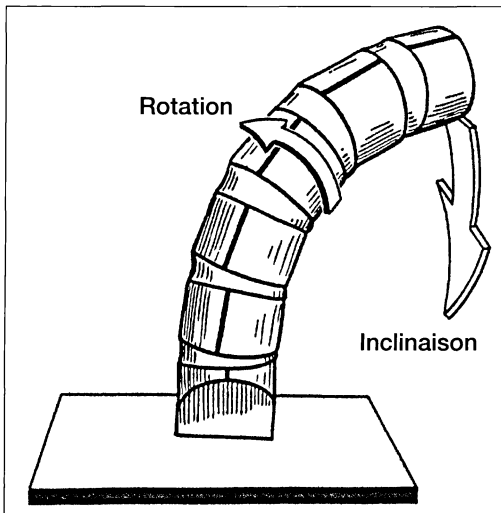


Figure 1 : Le rachis dorsal.

Le lecteur sait maintenant que le présent article considère la maquette didactique mais il reste à savoir dans quel but. La motivation de ce texte est d'intégrer dans le discours didactique des éléments relatifs aux modèles conceptuels, et plus particulièrement aux modèles analogiques, en s'éclairant de la théorie de la communication de Wiener (Wiener, 1948, 1952). L'analogique est alors vu comme outil didactique pour la formation non seulement aux connaissances scientifiques, mais aussi aux dédales qui peuvent mener à leur création. Cette tentative d'intégration a été faite à l'occasion d'un cours de quarante-cinq heures offert à des enseignants. Ceux-ci, tout en ayant la tâche de produire une maquette originale, devaient étudier les propriétés didactiques de la maquette et identifier, d'une part, les conceptions qu'elle pouvait susciter chez les étudiants et, d'autre part, leurs propres conceptions des mécanismes d'apprentissage.

Ainsi, cet article veut ouvrir une porte sur un champ qui apparaît intéressant et fertile tant pour la formation des maîtres que pour celle des élèves. Il ne conclut pas sur les mérites des maquettes analogiques, mais essaie plutôt de montrer le potentiel qui, pensons-nous, réside dans leur création et leur utilisation. Voici un bref exposé des notions abordées dans le cours et quelques réalisations des enseignants.

LES MAQUETTES DIDACTIQUES

Comment procède-t-on de nos jours pour enseigner une théorie scientifique à un élève ? Un bon nombre d'éducateurs admettraient sans doute qu'il faille à un moment donné faire observer des faits ou des résultats expérimentaux qui confirment le bien-fondé de cette théorie : *"il s'agit de leur montrer qu'elle s'impose comme la conséquence logique de ces faits."* Ce qui revient à dire comme l'explique Stengers (Stengers & Schlanger, 1991) que l'idée implicite dans l'enseignement est que, pour toute personne sensée, la théorie doit s'imposer comme la seule réponse possible aux faits en question. L'élève, à la limite, s'il avait été placé dans les mêmes circonstances que Galilée, Newton ou Einstein aurait pu tirer les mêmes conclusions et produire la même théorie. Il s'agit là de la pédagogie de la "re-découverte" pour laquelle, dans la démarche scientifique, nous sommes tous interchangeables (moyennant quelques retouches par l'enseignement). Mais, comme le souligne Stengers (Stengers & Schlanger, 1991), ce discours empiriste, voulant que tout être de bon sens doive s'incliner devant les faits que la science met au jour et les conclusions qu'elle dégage, est largement battu en brèche par le discours actuel de la science qui véhicule l'idée selon laquelle tout fait est imprégné de théorie, celle-ci étant d'abord le fruit d'une invention conceptuelle.

Ce thème de l'invention théorique est rarement invoqué au profit d'une stratégie didactique, et la maquette analogique – suivant la thèse que nous défendons – semble un instrument qui en permet facilement l'exploitation. Du

moins, c'est le genre de conclusion que l'on peut tirer de la lecture de Judith Schlanger (Stengers & Schlanger, 1991) sur la pensée inventive. Elle place la conception des idées neuves au centre de la réflexion scientifique et montre que ce sont surtout les modèles métaphoriques (iconiques, analogiques ou théoriques) qui sont le plus directement liés à la conceptualisation inventive.

Ainsi, il peut être intéressant de ne pas limiter l'enseignement à la transmission de théories scientifiques admises et d'inclure des opportunités favorisant l'invention. C'est ce qui est recherché avec la maquette, en essayant de développer la pensée inventive par l'intermédiaire, entre autres, du raisonnement analogique.

Sur un autre plan, la fabrication de maquettes analogiques conduit l'apprenant à ne pas négliger une autre source du savoir scientifique. En effet, en plus de la théorisation (observation-expérimentation) et de la modélisation (iconique ou mathématique), la technologie (les techniques issues des arts manuels) joue un rôle important dans le développement des sciences. Les didacticiens des sciences tiennent rarement compte du fait que les connaissances scientifiques sont aussi tributaires de l'art et du pragmatique. Pour être une personne de sciences, il faut bien souvent être plombier, électricien, dessinateur, charpentier, souffleur de verre...

L'élaboration de maquettes dans le dessein de faire apprendre des concepts pose de nombreuses questions à celui ou celle qui désire s'y adonner. Uniquement sur le plan des modalités de représentation tridimensionnelle, il est possible de faire appel à différents objets : des reproductions diverses, des mobiles, des "stables", des simulateurs, des modèles réduits ou agrandis, des solutionneurs analogiques (à ce sujet, voir Dewdney, 1984, 1985), des artefacts, des jeux, des icônes, des appareils, des instruments, des outils et des mécanismes en tout genre. Dans le montage d'une maquette certains de ces éléments peuvent être agencés entre eux, faire appel aux différents sens, permettre des interactions, du mouvement, tenir compte ou non de la chronologie des événements et être au besoin complétés par des modes de représentation tels l'écriture, le graphisme, la parole... Toutes ces caractéristiques sont les paramètres d'une taxonomie qui reste à construire.

L'intuition du communicateur est souvent satisfaisante pour réaliser des montages astucieux de maquettes didactiques, mais lorsqu'il est question de vouloir systématiser ce savoir-faire ou lorsqu'on veut dépister à temps les inconvénients de certaines constructions, un cadre théorique minimum s'impose.

LA COMMUNICATION ANALOGIQUE

Le cadre théorique développé par Watzlawick et al. (1972) demeure, malgré les effets pervers de l'utopie de la communication dénoncés par Breton (1992), une approche encore très fertile pour l'étude des phénomènes d'enseignement. Bien que cette théorie ait surtout été proposée pour mieux comprendre les phénomènes psychologiques, il semble que l'étude des objets didactiques y trouve aussi son profit. Sur le plan sémiologique il est proposé dans cette théorie de considérer deux véhicules de communication pour servir de substrat aux messages que s'échangent les humains. En d'autres termes, il y aurait lieu de distinguer deux matériaux d'encodage : les signes analogiques et les signes digitaux (alpha-numériques). Ainsi, pour désigner les objets, il est possible d'utiliser quelque chose qui leur ressemble comme un dessin (l'analogique) ou bien de leur donner un nom (le digital). Or, si le matériau analogique a des rapports directs avec ce qui est représenté – ce qui est le plus souvent le cas pour des maquettes – le digital se sert d'un mot qui est arbitraire et résulte d'une convention sémantique.

Les signes digitaux font appel à une syntaxe logique complexe mais plus précise que les signes analogiques qui cultivent l'équivoque. Le matériau digital, plus que le matériau analogique, permet la complexité, la souplesse, la précision et l'abstraction. Avec l'analogique, il peut devenir difficile d'exprimer la négation, le présent, le passé ou le futur. Le matériel d'un message analogique peut être très antithétique : un cadeau, par exemple, sera perçu comme un remerciement, une aumône, une restitution ou une marque d'affection. Par ailleurs, un tel message bénéficie d'une large diffusion et permet d'évoquer, plus globalement que le message digital, ce que l'on veut transmettre en faisant davantage appel à l'imagination.

Avant de poursuivre, il importe peut-être de souligner que ce que l'on entend ici par analogique est différent de cette figure de style langagière qu'est l'analogie. L'analogique est considéré ici comme étant en fait toute communication non verbale ; le verbal étant pour sa part le digital avec lequel d'ailleurs on produit ces figures de style que sont les analogies.

L'ANALOGIE COMME PROCESSUS COGNITIF

L'étude de l'induction occupe une place importante dans la didactique des sciences, et l'analogie y jouerait un rôle prépondérant. L'induction peut être définie comme un procédé de la pensée pour produire des inférences. Celles-ci sont des prédictions faites au sujet de changements anticipés dans l'environnement. Quand c'est la pensée déductive qui produit des inférences, leur validité est garantie par un formalisme rigoureux. Par ailleurs, la validité des inférences inductives est assurée par le *feedback* du succès ou de l'échec des prédictions. Comme le signalent Holland et al. (1986), l'étude de l'induction se résume donc à l'étude de la façon dont la connaissance est modifiée à partir de son utilisation.

L'induction intègre des connaissances acquises afin de modéliser une situation nouvelle. Ainsi, devant une situation, l'induction fournirait tout d'abord un modèle général par défaut – toujours d'après Holland. Si celui-ci ne fonctionne pas, alors des sous-modèles sont proposés pour des cas particuliers. S'il n'y a toujours aucun modèle qui soit opérationnel, alors s'engage la résolution de problèmes. Et c'est ici qu'entre en jeu l'analogie, cette fois-ci non pas comme support de communication mais comme processus cognitif. Nous ne décrivons pas tout le détail des explications sur la source et la cible dans la production ou l'utilisation d'une analogie. Dans le contexte de l'étude des maquettes il nous importe de mentionner que l'analogie peut être un moyen privilégié pour la construction de modèles concrets ou de modèles conceptuels.

La maquette analogique peut constituer une forme de représentation intermédiaire entre le réel perçu et le modèle conçu. Elle sert d'interface entre ces deux aspects, et la mise en évidence des correspondances entre la maquette et l'objet étudié constitue une première forme d'abstraction, antérieure à la généralisation et à la décontextualisation des relations amenant à induire le modèle formel. Les règles illustrées par l'intermédiaire de l'analogie continuent de se modifier au fur et à mesure que de nouveaux exemples peuvent leur être associés, amenant ainsi de nouvelles inductions. On peut par exemple faire une analogie entre un avant-bras qui actionne un vilebrequin et une bielle dans un moteur à explosion. Bien que ces deux "objets" n'offrent pas de grandes ressemblances physiques, avec l'idée de les mettre en parallèle se dessine une relation analogique qui permettra d'utiliser presque indifféremment le langage d'un objet pour décrire l'autre. Ainsi, la ressemblance ne se situe pas entre les objets eux-mêmes ou entre le réel et le modèle, mais plutôt dans leurs descriptions. *"Bien loin que la similitude fonde l'analogie, elle en résulte. C'est en cela qu'un rapprochement peut être novateur et éclairant : sa réussite n'est pas une représentation, mais un discours possible."* (Stengers & Schlan-ger, 1991, p. 86)

ET LA DIDACTIQUE ?

Pour qualifier la maquette de didactique elle doit prendre en considération des relations entre le maître, l'élève et le savoir. Les notions exposées précédemment, même si elles ne relèvent pas toutes à strictement parler de la didactique permettent d'établir ces relations. Bien qu'une analyse plus poussée des propriétés didactiques des maquettes reste à faire, nous pensons que les principes qui se dégagent de l'étude des différents niveaux de l'analogie viennent enrichir les théories didactiques. Ces principes s'intègrent bien par exemple dans le cadre de divers travaux sur la modélisation en mathématiques et en sciences (dont Chevallard, 1989a, 1989b; Johsua & Dupin, 1988; Lemeignan & Weil-Barais, 1988; René de Cotret, 1993). L'usage de matériel analogique fournit des instruments nouveaux favorisant l'élaboration de modèles, et les phases de la modélisation, qui passent par l'induction, rejoignent celles de la pensée (ou de la résolution) analogique.

La fabrication ou l'utilisation de maquettes par les élèves eux-mêmes s'avère une activité utile pour la mise en lumière des conceptions spontanées qu'ils entretiennent en sciences. Lorsque ce sont les enseignants qui produisent les maquettes, ce sont en plus leurs conceptions des étudiants qui sont révélées, ce qui engage des échanges fructueux pour leur formation.

La création de maquettes entraîne un questionnement de la part de l'enseignant qui l'oblige à expliciter ses conceptions sur la science, sur son développement, son enseignement et sur l'apprentissage des élèves, de même qu'à revoir la cohérence entre ces aspects. Les maquettes constituent ainsi un outil privilégié pour la formation des maîtres. Elles permettent de plus d'inclure dans l'enseignement des sciences un volet de "réflexion analogique" qui constitue selon Schlanger (Stengers & Schlanger, 1991) une voie d'accès à la création.

DU CÔTÉ DES RÉALISATIONS

Comme nous l'avons déjà signalé, un cours de deuxième cycle a été offert au département de didactique de l'université de Montréal, portant directement sur la production de maquettes didactiques pour l'enseignement des sciences et des mathématiques. Les étudiants furent impliqués dans une démarche d'identification des besoins d'apprentissage et de conception novatrice d'une maquette. La commande fut de prime abord perçue comme une tâche trop ambitieuse. Les participants ont toutefois accepté quand même le risque de l'opération, l'importance étant placée beaucoup plus sur les questions que permet de poser la démarche, plutôt que sur la seule réalisation d'un produit. Malgré les difficultés, les vingt enseignants inscrits au cours ont tous conçu, réalisé et présenté une maquette. Certains les ont même expérimentées. Quelques-unes de ces maquettes sont à notre avis de réelles innovations. Il est très difficile dans le cadre de cet article de les décrire correctement mais nous tenons tout de même à en signaler trois.

En météorologie : le Démofronts (maquette de Robert Ripeau)

Cette maquette a été créée afin d'aider les élèves de deuxième secondaire (13-14 ans) à comprendre comment une carte météorologique représente les conditions météo réelles régnant sur le terrain. Il s'agit en quelque sorte d'une carte météorologique en trois dimensions incluant des éléments comme les nuages, les masses d'air (rendues visibles) en plus d'un baromètre, d'un thermomètre et d'un hygromètre actionnés mécaniquement en fonction des conditions météorologiques étudiées. Le Démofronts permet de recueillir des données pour quatre cas de passages de fronts froids, quatre cas de fronts chauds et quelques autres situations.

En électricité : l'Électrobulle (maquette de Martin Beaulieu)

L'analogie entre l'hydraulique et l'électrique est bien connue, tant pour ses qualités que pour ses limites. L'Électrobulle utilise aussi des liquides pour favoriser une meilleure conception de l'électricité, mais cette fois en fonction de leur densité. Au bas d'une ampoule de décantation remplie d'huile on fixe un boyau en Y relié à deux tubes de verre, l'un contenant de l'eau et l'autre de l'eau salée. Lorsque l'huile descend de l'ampoule, des gouttelettes se forment en montant dans les tubes de verre et leurs progressions diffèrent en fonction de la densité des liquides dans les tubes. Cette maquette crée une analogie pour la relation $G(s) = I(a) / U(v)$ entre le courant électrique I (ampère), la tension électrique U (volt), la conductance G (siemens) et, respectivement, le débit des gouttes d'huile, la hauteur de l'ampoule d'huile et ce qu'on a appelé la "*densitude*".

En mathématiques : la Cerclo-sphère (maquette de Martine Filiatrault)

Le but de la Cerclo-sphère est de montrer que l'aire d'une sphère est égale à quatre fois l'aire du cercle de même rayon. Pour ce faire, la sphère est recouverte avec quatre bandelettes de feutrine de même longueur, chacune de ces bandelettes pouvant recouvrir exactement un cercle de même diamètre que la sphère. Le principe est simple et, bien qu'aucune démonstration ne soit faite, cette "monstration" a l'avantage de frapper l'imagination.

Il est probable que de telles maquettes existent déjà, mais leur caractère novateur vient, entre autres, du regard que nous posons sur elles et de l'utilisation que nous en faisons. Dans un avenir rapproché, il faudra aller plus avant dans leur analyse, leur catégorisation et l'étude de leurs influences sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences et des mathématiques. Cela nous paraît essentiel à une utilisation éclairée des maquettes.

En conclusion, il faut anticiper pour bientôt "Le Salon de la Maquette Didactique". Plusieurs professeurs ont des réalisations qu'il faut exposer et nous espérons voir des groupes s'y intéresser.

BIBLIOGRAPHIE

- BRETON P. (1992). *L'utopie de la communication*. Paris, La Découverte.
- CHEVALLARD Y. (1989a). Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège - Deuxième partie : Perspectives curriculaire : la notion de modélisation. *Petit x*, n° 9, pp. 43-75.
- CHEVALLARD Y. (1989b). *Arithmétique, Algèbre, Modélisation. Étapes d'une recherche*. Publication de l'IREM d'Aix-Marseille, n°16.
- DEWDNEY A.K. (1984). On the spaghetti computer and other analog gadgets for problem solving. *Scientific American*, vol. 250, n° 6, pp. 19-27.
- DEWDNEY A.K. (1985). Analog gadgets that solve a diversity of problems and raise an array of questions. *Scientific American*, vol. 252, n° 6, pp. 18-29.
- HOLLAND J.H., HOLYOAK K.J., NISBETT R.E. & THAGARD P.R. (1986). *Induction. Processes of Inference, Learning, and Discovery*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- JOHNSA S. & DUPIN J.-J. (1988). La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe. In G. Vergnaud, G. Brousseau et M. Hulin. (Eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, Actes du colloque de Sèvres*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 185-199.
- KAPANDJI I.A. (1975). *Physiologie Articulaires*, tome 3. Paris, Maloine.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1988). Étude de quelques activités de modélisation. In G. Vergnaud, G. Brousseau et M. Hulin. (Eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, Actes du colloque de Sèvres*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 229-244.
- STENGERS I. & SCHLANGER J. (1991). *Les concepts scientifiques*. Paris, Gallimard.
- RENÉ DE COTRET S. (1993). Modéliser pour mieux comprendre la notion de proportions en mathématiques. In *Résumé des communications, Premier congrès Actualité de la Recherche en Éducation et Formation*. AECSE, Paris, pp. 130-131.
- WATZLAWICK P., HELMICK J., BEAVIN J. & JACKSON D.D. (1972). *Une logique de la communication*. Paris, Seuil.
- WIENER N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Paris, Hermann et Cie.
- WIENER N. (1952). *Cybernétique et société*. Paris, Deux-Rives.