

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES, VOIE ROYALE POUR AMÉLIORER L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES PAR L'IMAGE ?

Richard Lowe

Dans l'enseignement des sciences, les schémas (1) constituent une forme importante d'information visuelle ; ils exigent des capacités d'interprétation spécialisées et peuvent donc poser des problèmes particulièrement délicats à des étudiants novices dans un domaine scientifique. Par ailleurs les progrès de l'informatique offrent d'énormes possibilités d'affichage et de manipulation d'informations visuelles. La question se pose alors de savoir si ces traitements informatiques, tels que l'animation interactive, peuvent contribuer à améliorer l'efficacité de l'apprentissage des sciences à partir de schémas. Caractériser cet apprentissage comme lié à la construction, par l'étudiant, d'un modèle mental approprié, revient à donner un rôle-clé au traitement cognitif correct d'un schéma. Cet article s'intéresse à l'utilisation d'outils multimédias pour l'apprentissage à partir de schémas. Il étudie les différentes façons dont les principes dérivés de la psychologie cognitive pourraient être appliqués au traitement classique et au traitement informatique des schémas scientifiques, dans le but de faciliter la construction de modèles mentaux à partir de ces schémas. L'application de ces principes à quelques exemples de schémas montre que c'est la prise en considération du traitement "humain" de l'information, plutôt que celle du traitement informatique, qui est probablement essentielle pour que les outils informatiques améliorent l'apprentissage des sciences à partir de schémas.

Les multimédias ont été considérés comme une innovation des plus attrayantes dans le domaine des techniques d'enseignement. Ils ont tout particulièrement excité l'imagination des enseignants en sciences. Le potentiel éducatif de cette nouvelle technologie tient aux capacités de plus en plus grandes des ordinateurs personnels qui permettent de manipuler, avec la plus grande souplesse, toutes sortes d'outils d'information sur un dispositif de présentation unique. En utilisant un format numérique sous-jacent commun pour des médias aussi divers que du texte, des images, du son, de l'animation et de la vidéo, l'informatique permet, à la fois, de les fusionner et de les manipuler pratiquement à l'infini, via des dispositifs de traitement de l'information disponibles sur les ordinateurs.

les capacités
des multimédias

(1) C'est le terme anglais "diagram" qui est ici traduit par le mot "schéma", en lui donnant un sens plus large que celui qui lui est attribué habituellement (voir par exemple des auteurs comme J.-F. Vezin ou D. Jacobi).

Cet article se centre sur les capacités graphiques des systèmes multimédias ; ces capacités ont en effet été mises en avant par ceux qui en vantent les mérites comme support de l'apprentissage et elles ont bénéficié d'une grande attention de la part des fabricants de ce type de matériel. Il porte quelques questions et points de vue à l'attention des enseignants en sciences qui considèrent que l'animation et l'interactivité, possibles grâce à ces outils, devraient permettre d'améliorer l'apprentissage des sciences à partir de schémas.

Trois points justifient l'intérêt de cette mise au point :

- les schémas jouent un rôle-clé dans l'enseignement des sciences ;
- les capacités de traitement visuel des ordinateurs personnels ont récemment atteint un niveau tel qu'il est désormais relativement facile de manipuler de façon sophistiquée du matériel graphique ;
- l'utilisation courante des schémas dans l'enseignement assisté par multimédia semble, pour une grande partie, reposer largement sur l'intuition ou sur des hypothèses simplistes et fort vagues relatives tant aux images qu'à l'apprentissage.

1. LES SCHÉMAS, EN TANT QUE LANGAGE SCIENTIFIQUE

schéma langage

La pensée et la communication scientifiques se caractérisent par l'utilisation de langages extrêmement spécialisés. Ils diffèrent fondamentalement du langage quotidien par de nombreux aspects. Autant que la prose scientifique et que les différents types de mathématiques utilisés pour exprimer des idées scientifiques, la vaste gamme des représentations graphiques que l'on rencontre dans les différents domaines scientifiques constitue un type de langage qui exige souvent une considérable expertise interprétative. Aujourd'hui, dans la plupart des domaines scientifiques, on utilise de nombreux types d'images pour représenter des structures, des processus et des concepts scientifiques. Dans certains cas, ces images fournissent des descriptions très réalistes de l'objet dont elles traitent, de telle sorte que même un novice dans le domaine considéré serait capable de voir la ressemblance entre schéma et objet. Mais la Science se caractérise par le fait qu'elle utilise de nombreuses représentations extrêmement abstraites où la correspondance entre l'image et son référent n'est absolument pas évidente. Globalement, l'ensemble des types de schémas utilisés en sciences peut être considéré comme un continuum allant du très réaliste au très abstrait.

du schéma
réaliste au
schéma abstrait

Le degré de ressemblance entre une image et son référent n'est pas simplement fonction de la technique utilisée pour produire cette image. Par exemple, bien que les images pho-

tographiques puissent être extrêmement réalistes, la photographie et les techniques connexes sont de plus en plus utilisées pour produire des représentations extrêmement abstraites telles que les images infrarouges envoyées par satellite, ou les images d'organes du corps obtenues par scanner. De la même façon, les dessins "au trait" (par opposition à "générés automatiquement" comme les photographies) peuvent présenter de façon plus ou moins réaliste ou abstraite l'objet dont ils traitent. Cet article s'intéresse essentiellement au type de schémas qui se trouve vers le pôle abstrait du continuum de l'ensemble des dessins scientifiques. Il n'existe pas de définition d'un "schéma", reconnue par tous dans les publications ; vu la grande variété de ce qui est appelé "schéma", il ne serait en effet pas raisonnable d'escompter une définition précise de cette catégorie. Dans le cadre de cet article, on utilisera le terme de schéma essentiellement pour faire référence à des dessins scientifiques au trait, chargés de représenter certaines caractéristiques, comportant un certain niveau d'abstraction et de simplification et utilisant des conventions de codage propres à des domaines spécialisés.

vous avez dit
"schéma" ?

Au même titre que de nombreux autres langages utilisés en sciences, les schémas ont des caractéristiques et un contenu spécifiques dont l'interprétation peut être beaucoup plus difficile, pour un novice d'un domaine scientifique donné, que ne l'est l'interprétation des images banales rencontrées dans la vie quotidienne. C'est là un véritable problème : les schémas sont trop souvent simplement considérés comme un outil explicatif bénéfique et non pas comme une forme sophistiquée de représentation, mettant en jeu un codage dont la maîtrise est requise pour l'acquisition du contenu scientifique qu'ils traduisent. Si l'outil informatique était capable de faciliter ce processus exigeant d'interprétation des schémas, il pourrait contribuer à amplifier l'intérêt de ces derniers en tant qu'aides à l'apprentissage des sciences.

interpréter
les schémas

2. MULTIMÉDIAS ET EFFICACITÉ DE L'ENSEIGNEMENT

Dans la forme qu'il revêt actuellement, l'enseignement des sciences informatisé risque de ne pas s'avérer à la hauteur du potentiel qu'offre la technique pour rendre l'utilisation de schémas plus efficace. Différentes raisons peuvent être avancées, mais cet échec pourrait être dû à une difficulté sous-jacente à l'utilisation même traditionnelle des schémas. De nombreux fabricants de matériel informatique font appel en effet à des méthodes pédagogiques qui méconnaissent, dans une large mesure, les recherches, tant théoriques qu'empiriques, sur le processus d'apprentissage humain. Ces fabricants semblent avoir une foi très naïve dans l'infor-

effet de
motivation et
outil cognitif

matique, ils semblent convaincus que les ordinateurs sont, en quelque sorte, intrinsèquement capables d'améliorer l'apprentissage. Une telle croyance est extrêmement préoccupante : l'efficacité de l'enseignement est trop souvent considérée comme étant fonction de la valeur motivationnelle d'une présentation, des performances faibles étant presque exclusivement attribuées à des facteurs affectifs. D'un tel point de vue, la principale fonction des images dans les aides didactiques consiste à éveiller et retenir l'intérêt de l'élève. Par exemple, la raison essentielle de l'animation interactive d'un schéma serait de le rendre plus attrayant. Bien que l'animation puisse, sans aucun doute, être un moyen intrinsèque de motivation, il faut néanmoins faire la distinction entre la poursuite d'objectifs affectifs et la poursuite d'objectifs cognitifs. Si les effets motivants sont hautement souhaitables, ils ne peuvent dispenser d'une explication claire si le sujet traité est difficile à comprendre ou à mémoriser.

le mirage des
multimédias

L'étude des sciences est exigeante et il ne faut pas se priver du caractère motivant des schémas, en particulier dans un contexte multimédia, mais l'objet central de nos préoccupations doit cependant être leur fonction cognitive.

S'imaginer qu'il est possible d'obtenir un bénéfice éducatif du seul fait que le support de l'information (sous forme de schémas ou autre) est multimédia, c'est ne pas se rendre compte de la nature complexe du processus d'apprentissage. En effet, ce qui compte beaucoup plus dans toute situation pédagogique, ce sont les caractéristiques de celui qui apprend, la nature du contenu et la façon dont l'élève interagit avec le matériel présenté. Il est donc parfaitement possible, pour un étudiant, d'apprendre plus d'une discussion bien conçue, conduite par un enseignant autour d'un schéma statique, que d'une proposition multimédia d'animation interactive dépourvue de réflexion didactique. Par exemple, il n'est absolument pas garanti qu'une présentation multimédia, dans laquelle l'étudiant clique sur des boutons interactifs sur un schéma affiché à l'écran sera aussi efficace qu'un exercice papier crayon mis au point avec soin et impliquant, de la part de l'étudiant, la manipulation d'idées relatives au schéma pendant l'exécution du dessin. Toutefois, il semble inévitable, qu'à l'avenir, les outils multimédias joueront un rôle croissant dans l'enseignement des sciences ; il convient donc d'étudier leur potentiel en tant qu'outils d'apprentissage à partir de schémas.

Des auteurs tels que Levin, Anglin et Carney (1987) ont identifié une série de fonctions distinctes que les images peuvent assurer.

3. MULTIMÉDIAS PRODUITS PAR DES ENSEIGNANTS

facilité d'emploi
des "paquets
multimédias
créatifs"

Bien que la plupart des outils multimédias destinés à l'apprentissage des sciences soient produits par des fabricants du secteur privé (commercial) ou des institutionnels, l'arrivée sur le marché de "paquets multimédias créatifs" puissants mais faciles à utiliser va de plus en plus permettre aux enseignants de produire leurs propres outils d'enseignement multimédia. Avec de tels outils de création et la vaste gamme de logiciels sophistiqués de manipulation graphique disponibles à l'heure actuelle, il est relativement simple, pour un enseignant, de transformer un schéma scientifique passif, statique, en un schéma à la fois dynamique et interactif. Toutefois, il ne faut pas confondre les capacités techniques nécessaires pour réaliser de telles transformations avec la question de savoir si l'animation *per se* aura, ou non, des conséquences cognitives souhaitables sur le plan de l'apprentissage des sciences. En fait, il est probable que, dans certains cas, mieux vaut utiliser des schémas statiques plutôt que des schémas dynamiques pour certains types de contenu scientifique. Néanmoins, puisqu'il existe bel et bien une tendance inexorable vers l'utilisation de représentations interactives, de telle sorte que cette idée s'impose aux utilisateurs, il convient d'envisager comment de telles représentations devraient être utilisées en vue d'aboutir au meilleur résultat possible dans le cadre des contraintes existantes. Trouver les moyens par lesquels l'apprentissage impliquant l'utilisation de schémas scientifiques bénéficierait véritablement d'un traitement informatique est une question complexe, un véritable défi, parce que se trouvent impliqués à la fois le contenu spécifique représenté dans le schéma et la forme dans laquelle ce contenu est décrit. Idéalement, la conception d'un traitement informatique d'un schéma devrait tenir compte de la façon dont les étudiants réagissent par rapport au contenu et à la forme. Ce dont on a besoin, ce sont de lignes directrices, établies à partir de la théorie, et proposant des méthodes d'animation et d'interaction appropriées à un schéma et à une tâche d'apprentissage donnés.

Étant donné les difficultés pratiques auxquelles se heurte l'enseignant pour mettre au point ou obtenir pour sa classe du matériel d'enseignement, ce n'est pas la peine d'espérer que toutes les décisions pédagogiques seront prises en se fondant sur des résultats de recherche pertinents par rapport à chacun des éléments du contenu devant être pris en compte. L'étendue des résultats disponibles est actuellement insuffisante et il est peu probable que les enseignants, pris individuellement, aient les moyens d'explorer la façon dont les étudiants interagissent avec chaque élément spécifique du contenu d'enseignement. Il ne s'agit pas de nier l'importance fondamentale de la "recherche orientée

entre forme et
contenu des
schémas...

c'est la forme qui
est étudiée ici

les apports de
la psychologie
cognitive

contenu", telle que celle qui traite des conceptions erronées et du changement conceptuel. Mais les enseignants et autres "développeurs" potentiels de multimédias éducatifs (tels que les concepteurs pédagogiques) sont confrontés dans l'immédiat à la tâche qui consiste à produire des outils éducatifs dans l'état actuel des connaissances, quand bien même celles-ci ne sont pas adéquates. S'il est relativement difficile de résoudre cette question du **contenu** d'un schéma scientifique, il semble que l'on puisse fonder plus d'espoirs sur la façon dont la **forme** d'un schéma pourrait être travaillée, *via* l'informatique, en vue d'aider l'élève. S'intéresser à la forme des schémas est particulièrement pertinent dans la mesure où la présentation multimédia se préoccupe souvent de cet aspect mais, généralement, d'une façon très superficielle, intuitive. Un travail de la forme, plus fondé sur des principes, tirant parti des capacités de l'informatique, pourrait faire progresser dans la voie de la production d'outils d'apprentissage à partir de schémas plus valables. C'est pourquoi cet article ne s'intéresse pas aux questions relatives au contenu des schémas mais se centre, en revanche, sur les lignes directrices qui devraient être utilisées pour modifier la forme des schémas lorsqu'on les fait passer d'un décor "classique" à un environnement multimédia.

Il existe plusieurs traditions de recherche, notamment celles de la sémiologie, de la phénoménologie et de la psychologie cognitive, qui pourraient fournir des cadres appropriés à partir desquels pourraient être établies de telles lignes directrices. Du fait de leurs perspectives différentes, ces traditions mettent l'accent sur des éléments différents et se situent à des niveaux d'analyse également différents ; ces approches devraient s'avérer complémentaires, toutefois nous nous limiterons, dans le cadre de cet article, aux quelques lignes directrices possibles que l'on peut tirer de la psychologie cognitive. Les considérations théoriques sur la façon dont nos esprits construisent et utilisent des représentations **internes** d'une information rencontrée sous la forme de schémas, qui sont des représentations **externes**, sont alors essentielles. Bien que de nombreuses recherches soient encore à faire dans ce domaine, il existe à l'heure actuelle sur le sujet une documentation considérable qui ne cesse de croître (Hegarty, 1992 ; Larkin & Simon, 1987 ; Lowe, 1993a, Lowe 1994b ; Mayer & Anderson, 1992 ; Mayer & Sims, 1994 ; Schnotz & Kulhavy, 1994 ; Winn, 1991) ; elle devrait fournir des indications aux fabricants de multimédia. Ces documents constituent la base d'une approche de principe permettant de prendre des décisions : quels types d'aspects dynamiques inclure, quelle quantité d'informations présenter, quels types d'informations utiliser, quels traitements de l'information proposer, quelles formes d'interaction fournir ?

4. SCHÉMAS ET SYSTÈMES SCIENTIFIQUES

La fonction générale des schémas est d'aider les étudiants à se familiariser avec les systèmes scientifiques en jouant sur leur rôle d'aide à la construction de modèles mentaux de ces systèmes (Mayer & Gallini, 1990). Les modèles mentaux sont conceptualisés comme des modèles construits, dans leur esprit, par les individus et fonctionnent comme des **représentations internes de systèmes scientifiques externes** ; ils ont les caractéristiques-clés du système ainsi modélisé. Les systèmes, aussi bien physiques que conceptuels, peuvent donner lieu à la construction de modèles mentaux ; ces représentations internes ne sont donc pas limitées à des objets tangibles mais peuvent également concerner des systèmes mettant en jeu des relations entre entités abstraites. Une propriété importante attribuée aux modèles mentaux est la capacité à traiter des modifications dans leur système de référents, capacité permettant inférences et prévisions sur des états inconnus du système (Johnson-Lairds, 1983). Cette propriété repose sur le fait qu'il est possible de "faire tourner" le modèle mental en déroulant le temps dans un sens ou dans un autre afin justement de déterminer ces états inconnus. Nous utiliserons le sismographe décrit à la figure 1 à titre d'exemple sur la façon dont pourrait être constitué un modèle mental de système physique.

se construire un
modèle mental

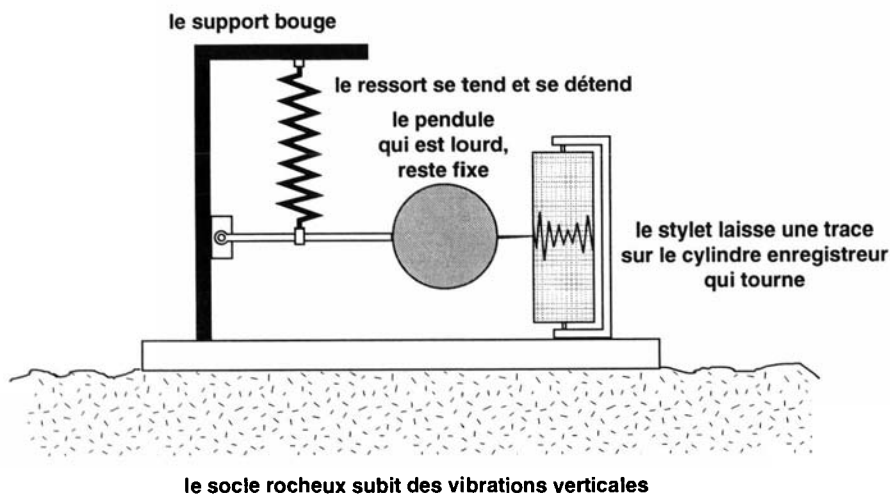


Figure 1. Un sismographe pour enregistrer les mouvements verticaux provoqués par des secousses géologiques

Pour un géologue, le modèle mental construit pour cet appareil contiendrait des témoins des aspects-clés du dispositif (ainsi que de son environnement). Ces indications seraient structurées de façon à ce que soient saisies les relations essentielles entre les éléments de la situation représentée par le modèle mental ; ainsi lorsque le modèle "tourne" dans la tête, un nouvel état peut être généré, état compatible avec la conception scientifique généralement acceptée dans ce domaine. On peut supposer que la construction de modèles mentaux est le résultat de la manipulation, dans la mémoire de travail, d'informations provenant, à la fois de ce que nous recueillons directement du monde extérieur, et des connaissances que nous avons enregistrées dans notre mémoire à long terme. La quantité d'informations que la mémoire de travail peut traiter en même temps étant limitée, l'information externe, telle qu'un schéma, devrait être présentée sous une forme exigeant le minimum de manipulations mentales non essentielles. En d'autres termes, la forme de l'information externe, telle qu'elle se présente, devrait pouvoir être incorporée directement dans le modèle en cours d'élaboration, sans qu'il soit nécessaire de gaspiller des ressources cognitives précieuses pour des transformations mécaniques de cette information.

éviter
le gaspillage
des ressources
cognitives

Pour illustrer ce gaspillage des ressources cognitives, considérons la façon dont les schémas statiques traitent habituellement la dimension temporelle. Les schémas statiques qui utilisent une ligne pour représenter le temps ou une série de cadres distincts, séparés spatialement, pour représenter des modifications temporelles, exigent de l'observateur qu'il traduise l'information, présentée sous forme spatiale, en une information temporelle. C'est pourquoi certains schémas statiques ont dans certains cas une valeur limitée en tant qu'outils cognitifs, en particulier lorsqu'il s'agit de systèmes dans lesquels une appréciation des changements temporels est essentielle pour une compréhension complète du système. Lorsque les étudiants essaient d'apprendre une matière à la fois nouvelle et difficile, il arrive que des difficultés supplémentaires, n'ayant pas un rapport direct avec le contenu, absorbent la totalité des ressources (limitées) disponibles dans la mémoire de travail, gênant ainsi la construction du modèle mental. Si la version dynamique d'un schéma permet de supprimer ce handicap, une certaine capacité de traitement cognitif devrait s'en trouver libérée, pouvant ainsi s'appliquer à des opérations plus profitables à l'apprentissage. Il est important de souligner, en passant, que ce n'est pas un argument ayant visée de généralisation contre les schémas statiques et pour les schémas dynamiques. Il est probable qu'il existe des cas dans lesquels les efforts consacrés à l'interprétation d'un schéma statique sont extrêmement productifs pour l'apprentissage. Essayer de comprendre par quels moyens une description statique peut représenter une situation dynamique peut impliquer des formes intéressantes de traitement facilitant

les avantages
des animations

la construction d'un modèle mental pertinent. Nous ne visons ici qu'à minimiser tout traitement supplémentaire ne présentant pas ce type de bénéfice éducatif.

Pour résumer l'analyse ci-dessus, l'animation d'un schéma peut, dans certains cas, être un moyen d'accroître la probabilité que l'étudiant construise un modèle mental approprié du système scientifique décrit dans un schéma.

Toutefois, pour que les étudiants s'approprient le flux d'informations visuelles présentées dans une animation, il est nécessaire de fournir une explication des événements décrits. Pour les schémas statiques que l'on trouve dans les ouvrages de science classiques, l'explication est fournie par différentes formes de texte écrit, tels que cartouches, légendes ou inclusions dans le corps principal du texte de l'ouvrage. Des études ont montré que l'emplacement de ce texte explicatif peut exercer une influence sur l'efficacité des étudiants à résoudre les problèmes de transfert, les meilleurs résultats étant obtenus avec une disposition du texte étroitement coordonnée au schéma (Chandler & Sweller, 1992 ; Mayer, 1989 ; Mayer & Gallini, 1990). Lorsque l'on passe à un environnement éducatif multimédia, on constate une tendance à utiliser la parole plutôt que le texte pour fournir certaines explications relatives à un schéma. Ce procédé présente l'avantage de disperser l'attention des étudiants puisqu'il n'y a plus deux catégories d'informations visuelles (schéma et texte écrit). Cependant, il semble que la façon dont sont reliées l'information fournie par le schéma et celle fournie par la parole est un facteur important de l'efficacité d'une telle combinaison, des présentations concomitantes favorisant la rétention d'informations plus que des présentations successives (Mayer & Anderson, 1992 ; Mayer & Sims, 1994).

quand la parole
remplace le texte

5. CAPACITÉS D'INTERPRÉTATION DES SCHÉMAS

Pour qu'un schéma soit efficace, en tant qu'outil d'apprentissage, les étudiants doivent pouvoir le traiter de façon pertinente : la signification qu'ils engendrent doit correspondre aux intentions de l'auteur (Lowe, 1993b). Comme évoqué ci-dessus, le traitement peut consister à utiliser le schéma pour construire un modèle mental approprié du contenu décrit. Bien que la capacité à "lire" correctement un schéma soit tout aussi construite, en principe, que la capacité à lire correctement un texte, le processus impliqué dans la lecture d'images a toujours moins retenu l'attention que la lecture de textes. Les opérations impliquées dans l'interprétation d'images sont donc loin d'être aussi bien comprises que celles impliquées dans la lecture de textes. Toutefois, de récents travaux, tant théoriques qu'empiriques, ont commencé à révéler la complexité des tâches d'interprétation

apprendre à
"lire" un schéma

d'une image ainsi que la nature des compétences à mettre en œuvre.

À partir de différents éléments de recherche Winn (1993) a proposé un premier ensemble de quelques traitements fondamentaux impliqués dans l'interprétation d'un schéma. Cet ensemble, ayant pour objectif de rendre compte du processus de recherche de l'information dans les schémas, fournit un cadre utile à l'analyse des compétences que les étudiants doivent acquérir pour utiliser des schémas explicatifs. Il peut aussi servir de base à des suggestions d'ordre général aux concepteurs pédagogiques et aux enseignants pour rendre les schémas plus efficaces en tant qu'outils d'apprentissage. Selon Winn, le traitement des schémas est une tâche non triviale, à la fois complexe et aux multiples facettes, quand bien même ceux qui sont experts dans l'interprétation (les enseignants par exemple) les considèrent comme évidents. Reconnaisant le rôle-clé joué par les facteurs perceptifs dans la recherche d'information dans les schémas, Winn conclut que le facteur le plus important est cependant la connaissance, de la part de l'observateur, du contenu traité. La discussion ci-dessous est consacrée à un ensemble de quatre traitements qui, selon Winn, se déroulent une fois qu'un schéma approprié a été choisi pour être étudié et que les objectifs de recherche sur ce schéma ont été fixés. Ces traitements ont tous quelque chose à voir avec l'extraction de l'information à partir du schéma et sont étudiés ici sous l'angle de leur utilisation possible dans des approches classiques de l'enseignement des sciences. Cette discussion sera suivie de quelques exemples purement spéculatifs sur la façon dont ces traitements devraient être appliqués dans des approches multimédias ayant pour objectif de rendre l'apprentissage à partir des schémas scientifiques plus efficace.

quatre
traitements pour
un schéma

5.1. Discrimination et configuration

Le premier de ces traitements est censé résulter directement de l'impact des constituants du schéma sur le système perceptif de l'observateur. Les caractéristiques visuelles des éléments graphiques du schéma et la façon dont ces éléments sont disposés sont "traitées" **avant** même que l'observateur n'y prête une attention consciente. De ces caractéristiques fondamentales résulte soit une discrimination (éléments perçus comme des entités séparées), soit une configuration (constitution de sous-groupes à l'intérieur de l'ensemble graphique). Lorsqu'un étudiant regarde pour la première fois un schéma, certains symboles ou groupes de symboles peuvent être perçus avant d'autres en raison de leurs caractéristiques visuelles spécifiques (par exemple l'épaisseur du trait, la nuance, la couleur, une forme ou encore une dimension). Ces symboles et groupes de symboles ressortent par rapport à leurs voisins ; ils ont donc tendance à être traités en premier. Dans un schéma bien conçu ou un enseigne-

ce qui saute
aux yeux...

ment à partir de schémas efficaces, les caractéristiques visuelles des différents éléments affichés devraient être travaillées de telle sorte que l'attention de l'étudiant soit attirée vers des aspects pertinents par rapport au contenu. Cette mise en évidence est particulièrement importante pour les étudiants qui manquent de connaissances par rapport au contenu parce qu'ils n'auront pas d'autre base pour sélectionner la zone du schéma dans laquelle ils devront concentrer leur effort de traitement. Il faut s'attendre à ce que les étudiants aient des problèmes pour traiter un schéma si, dans la représentation, tous les symboles et groupes de symboles ont un statut perceptif équivalent ou s'il y a prééminence visuelle d'un aspect sans importance par rapport au contenu scientifique considéré. Une telle situation peut se produire si des considérations d'ordre secondaire, telles que esthétiques ou essentiellement motivationnelles, prennent le pas sur les objectifs principaux, scientifiques, du schéma.

Les enseignants, qui ont déjà une bonne compréhension du domaine représenté, rencontrent sans doute moins de problèmes. Par exemple, même si tous les symboles et groupes de symboles d'un schéma particulier sont traités graphiquement de façon équivalente, les connaissances de l'enseignant par rapport au contenu compensent probablement l'absence de mise en relief de l'information réellement importante (cf. Lowe, 1994a). L'enseignant risque alors de ne pas se rendre compte qu'un tel schéma sera perçu par un étudiant comme un ensemble indifférencié de symboles. C'est pourquoi il est important que les schémas comportent des signes explicites identifiant clairement les symboles et groupes de symboles pertinents. Autrement dit, ceux qui conçoivent des schémas pour l'enseignement doivent différencier clairement par des caractéristiques visuelles les éléments graphiques des schémas là où cela s'avère nécessaire ; la probabilité que les étudiants réalisent les discriminations et configurations appropriées sera alors maximale. Quant à l'enseignant qui utilise des schémas d'où il ne ressort pas clairement quels symboles doivent être discriminés et lesquels configurés, il lui revient d'y ajouter des signes visuels ou verbaux permettant de corriger ce défaut.

... doit être
ce qui est
pertinent

5.2. Systèmes de symboles et de conventions

Le deuxième traitement, évoqué par Winn comme relevant de la recherche d'information dans les schémas, repose sur une connaissance des systèmes symboliques et des conventions de schématisation. Certains aspects d'un schéma sont repérés, non pas en raison de la présence perceptuelle dont ils bénéficient du fait de caractéristiques visuelles spécifiques, mais plutôt parce que leurs symboles sont disposés dans l'espace selon une certaine façon ou associés à des dispositifs graphiques tels que lignes ou démarcations. Par

prendre en compte les conventions

exemple, dans un schéma représentant une évolution, des symboles correspondant à des étapes d'un processus peuvent être disposés selon l'ordre chronologique de gauche à droite et reliés par des lignes pour former une unité d'information plus grande. La figure 2 illustre ce type général de disposition, dont l'interprétation est fonction des compétences de lecture de schéma acquises et non de différences dans l'impact perceptuel intrinsèque des éléments qui la composent. Pour traiter correctement l'information, les étudiants ont besoin de connaître la façon dont sont utilisés différents symboles pour représenter différentes fonctions, et différentes conventions graphiques pour organiser ces symboles en un tout chargé de sens. Autrement dit, pour utiliser des schémas de façon efficace, en tant qu'outil d'apprentissage des sciences, l'élève doit d'abord commencer par apprendre le langage spécifique de ces schémas.

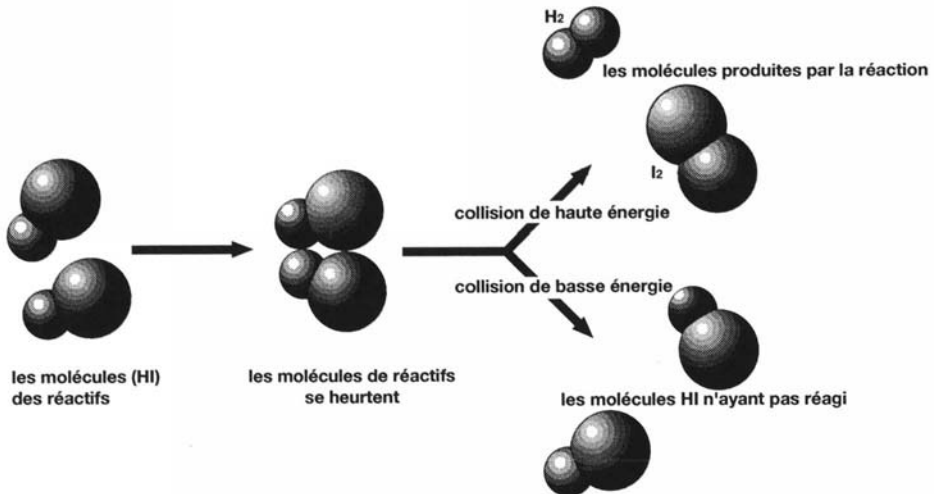


Figure 2. Pour que les molécules réagissent et forment de nouvelles molécules, elles doivent se heurter avec une énergie suffisante.

Avec certains types de schémas manifestement très abstraits (par exemple, le schéma d'un circuit électrique), les enseignants prennent toujours grand soin d'explicitier à leurs élèves le langage qui est utilisé parce que celui-ci leur est de toute évidence totalement étranger. Mais il existe de nombreux schémas, apparemment plus familiers dans lesquels les systèmes de symboles et conventions ne semblent pas justifier une explicitation. Cette impression superficielle peut être extrêmement trompeuse. Par exemple, considérons la pratique largement répandue qui consiste à utiliser des images "réalistes" dans un schéma, pour sa part, beaucoup plus abstrait, approche fréquemment utilisée avec l'intention manifeste de fournir une représentation plus concrète

des apparences
trompeuses

supposée plus accessible. C'est cette pratique que l'on peut voir illustrée sur la figure 2 où les molécules sont représentées avec une ombre afin de leur donner un aspect tridimensionnel tangible. Conséquence involontaire d'une telle stratégie : les étudiants risquent d'adopter une approche littérale, non pertinente pour interpréter un tel schéma. Winn & Holliday (1981) ont souligné le rôle important que remplissent les schémas pour révéler aux étudiants les relations fondamentales scientifiques en les représentant sous forme visiospatiale, alors même que bon nombre de ces relations scientifiques ne sont, en réalité, pas du tout d'ordre visiospatial (ainsi en est-il de la représentation de changements au cours du temps par le biais d'une équivalence du type "distance = temps"). C'est pourquoi une lecture littérale, dans laquelle la disposition spatiale des symboles et leurs liens seraient considérés comme décrivant directement la réalité, serait totalement fautive. Les étudiants doivent apprendre à aller au-delà des aspects perceptifs superficiels d'ordre visiospatial d'un schéma pour prendre en compte le système de symboles et de conventions qui constitue le cadre sous-jacent. Pour produire de tels schémas pour l'enseignement, il faut donc faire en sorte d'éviter une lecture littérale, et pour cela ne pas mélanger des aspects réalistes et des aspects abstraits d'une façon qui risquerait d'induire les étudiants en erreur. Quant à l'enseignant, il est important qu'il ne suppose pas *a priori* que les conventions utilisées dans un schéma sont forcément connues et comprises par les étudiants, en particulier lorsque les symboles et la façon dont ils sont disposés comportent des incohérences du type évoqué ci-dessus.

5.3. Connaissance du contenu

un bagage de
connaissances
pour explorer les
schémas

Le troisième traitement des schémas, que Winn considère comme crucial, concerne l'application de la connaissance du contenu. Celui qui possède déjà des connaissances appréciables quant au contenu concerné peut les utiliser pour guider sa recherche d'informations pertinentes pour la construction ou la compréhension d'un schéma. Ces connaissances peuvent l'aider pour décider de ce qu'il va chercher et, dans certains cas, indiquer les emplacements probables de cette information (Lowe, 1989). Ainsi, pour les enseignants, qui ont une compétence dans le domaine concerné, la question de savoir comment explorer de façon productive un schéma relevant de ce domaine ne se pose pas vraiment. Les étudiants novices dans le domaine étudié manquent par contre de ce bagage cognitif qui leur permettrait d'exercer, de façon à la fois efficace et productive, un contrôle stratégique extérieur de leur attention ; ce manque est d'autant plus sensible que les schémas sont plus abstraits et avares d'informations-clés. En l'absence de toute indication supplémentaire explicite quant à l'accentuation graphique des différents éléments du schéma et à leur dis-

position spatiale, ce qui est parfaitement clair pour l'enseignant peut être tout à fait opaque pour les étudiants.

Le paradoxe de l'enseignement est que les apprenants, par nature, peuvent manquer du bagage cognitif nécessaire au traitement productif d'un schéma et qu'on attend néanmoins d'eux qu'ils soient capables d'utiliser ces schémas spécialisés pour construire les connaissances dont ils manquent. Du fait que leurs structures de connaissances dans le domaine d'étude considéré sont peu développées, les étudiants ont du mal à déterminer quelles zones du schéma devraient s'avérer les plus productives à explorer pour obtenir des informations, quelle séquentialité ils devraient adopter pour traiter le schéma, ce qu'il serait important de remarquer dans le schéma et quelle importance accorder à ce qu'ils remarquent (Lowe, 1993a). Malheureusement, un schéma étant souvent considéré comme explicatif en soi plutôt que comme devant être expliqué ; ce qui pourrait aider les étudiants à traiter le schéma correctement n'est pas fourni. En fait, les étudiants ont besoin d'être guidés pour repérer sur le schéma ce qui a des chances d'être important.

un paradoxe peu pris en compte

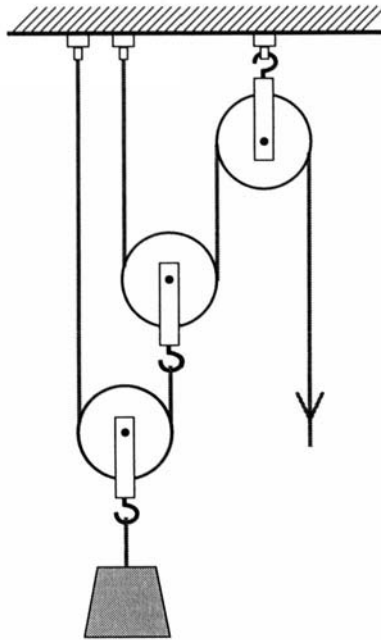


Figure 3. Un système de poulies pour soulever une masse importante plus facilement

Par exemple, dans la figure 3, les deux poulies mobiles à gauche du schéma ont un statut beaucoup plus important que la poulie fixe à l'extrême droite qui ne sert qu'à changer la direction dans laquelle s'applique l'effort. Cette séparation du schéma en deux parties principales requiert des connaissances dignes d'un spécialiste que des étudiants débutant en physique n'ont guère de chances de posséder. Le fait que la force appliquée du côté droit de la poulie du milieu, *via* la poulie fixe de droite, doit être contrebalancée par une force correspondante du côté gauche de cette poulie exige également des connaissances spécialisées. Pour comprendre ce qui se passe dans cette partie du schéma, les étudiants doivent remarquer que ces deux poulies sont soutenues de façon différente et appliquer les connaissances de physique correspondantes. Ces étapes de traitement sont sans doute nécessaires avant d'essayer de s'intéresser à la poulie placée le plus à gauche, qui supporte la masse. La figure 3 ne contient pas d'indications aisément repérables sur le type d'informations auquel il faudrait prêter attention, ni sur l'ordre de traitement ; de ce fait, ce schéma est loin d'être explicatif par lui seul. Il faudrait le munir d'indications visuelles révélant, de façon explicite, ses aspects importants ainsi que d'indices orientant l'exploration productive de son contenu par l'étudiant. Il peut être nécessaire de fournir plusieurs versions de ce schéma, chacune d'elles mettant l'accent sur des aspects différents qui doivent être pris en considération. L'enseignant qui utilise un schéma tel que celui de la figure 3, qui ne fournit aucune aide à l'interprétation, devra particulièrement veiller à fournir les connaissances nécessaires à l'analyse pertinente du schéma et guider le traitement dans des directions productives.

des indices
pour orienter
l'exploration

5.4. Stratégies de recherches

Le quatrième traitement décrit par Winn implique l'utilisation de stratégies de recherche appropriées à l'exploration d'un schéma. Le découpage classique en séquences d'un texte écrit, qui caractérise les langues européennes, semble être généralisé au matériel ne comportant pas de texte ("non-texte"). Des habitudes, fermement enracinées, de lecture de gauche à droite et de haut en bas, semblent engendrer une série de comportements spontanés pour extraire de l'information d'un schéma. Si cette stratégie, empruntée à la lecture, peut être pertinente lorsque le schéma a été conçu avec une structure compatible avec les conventions de "séquençage" de texte, il n'en va pas de même, loin de là, dans les autres cas. Très souvent le contenu d'un schéma et les contraintes pratiques auxquelles est soumise la disposition de l'information sur une page ne permettent pas de réinvestir cette compétence acquise de lecture. Dans d'autres cas, c'est pour de pures raisons esthétiques que les concepteurs semblent sacrifier le bénéfice qui résulterait du fait de s'en tenir à une disposition classique.

de la lecture de
texte à la lecture
de schéma

Ces schémas, dont les structures ne relèvent pas d'un traitement utilisant une stratégie simple - de gauche à droite et de haut en bas - posent des difficultés plus grandes aux étudiants. Dans de nombreux cas, l'effet global du déploiement visuel peut être paralysant, en particulier lorsque aucun indice explicite ne permet d'attaquer les constituants du schéma. L'étudiant qui dispose de stratégies, du type "diviser pour régner", peut découper le schéma en secteurs ; toutefois, pour que cette stratégie soit efficace, le schéma ne doit pas être déjà subdivisé de façon purement arbitraire et incompatible avec un découpage permettant un traitement scientifique. Lorsque les concepteurs mettent au point des schémas scientifiques pour l'enseignement, ils ne devraient pas se borner à vérifier la validité du contenu mais ils devraient également se pencher attentivement sur les processus de traitement à mettre en œuvre. Si le type de traitement auquel doit se livrer l'étudiant risque d'être difficile ou inhabituel, il peut être nécessaire de modifier la structure du schéma, ou d'apporter une aide auxiliaire guidant explicitement une stratégie de recherche productive. Lorsque l'enseignant a besoin d'utiliser un schéma préexistant, qui pose aux étudiants des difficultés particulières d'analyse, c'est à lui de leur montrer comment s'attaquer de façon productive au schéma.

6. CONCEPTION DE SCHÉMAS MULTIMÉDIAS

Dans cette partie, nous ferons, en rapport avec la discussion précédente, des suggestions de précautions à prendre lors de la conception de schémas pour un environnement multimédia. Les trois exemples de schémas statiques et passifs auxquels nous avons fait référence précédemment seront utilisés pour illustrer trois façons d'introduire l'animation et l'interactivité conformément aux principes décrits ci-dessus. Ces traitements sont des propositions qui ont uniquement pour objectif de montrer l'applicabilité - au plan général - de ces idées ; ils ne prétendent pas fournir des méthodes de conception de schémas multimédias efficaces. Il est évident qu'un traitement en détail des points à considérer pour ce faire exigerait une étude plus vaste prenant en compte les résultats de recherche disponibles concernant les préconceptions des étudiants, une étude de l'interaction des étudiants avec des versions statiques des schémas et une exploration de la façon dont les étudiants abordent les versions interactives animées (et non pas statiques) de chaque schéma. En présentant ces exemples, nous avons l'intention, à la fois, de nous faire les défenseurs d'une approche plus réfléchie de la conception de schémas multimédia et de mettre l'accent sur l'importance fondamentale du traitement "humain" de l'information dans cette réflexion.

ne pas négliger
l'importance du
traitement
"humain" de
l'information

l'animation...

L'utilisation pertinente de l'animation d'un schéma statique peut aider les étudiants à discriminer et configurer correctement les symboles dans des cas où l'information directement perceptive sur le schéma risque d'engendrer une base inappropriée pour un traitement ultérieur. Par exemple, à la figure 3, il n'est pas fait de distinction visuelle nette entre les trois poulies et pourtant, les deux poulies de gauche jouent un rôle très différent de celui de la poulie de droite dans le fonctionnement du dispositif. En présentant simultanément ces trois poulies visuellement similaires, on ne donne à l'étudiant aucun indice lui indiquant la nécessité de les traiter différemment. L'animation pourrait être utilisée ici pour indiquer cette différence, en modifiant au cours du temps les éléments affichés à l'écran. Par exemple, la configuration qui consiste à isoler les deux poulies de gauche pourrait être indiquée en les faisant apparaître ensemble avant d'ajouter la poulie de droite, celle-ci serait considérée ensuite comme distincte du premier groupe parce que présentée ultérieurement. Une autre possibilité pour aider à la configuration consisterait à présenter simultanément les trois poulies, mais avec des couleurs différentes, une couleur pour le groupe de gauche et une autre couleur pour la poulie de droite. Les deux groupes de poulies pourraient également être différenciés de façon fonctionnelle, en fournissant aux étudiants des possibilités d'interagir avec elles d'une façon structurée. Par exemple, les deux poulies situées à gauche pourraient pour commencer être affichées seules à l'écran et les étudiants invités à essayer différentes forces d'application pour soulever la masse. Ces essais seraient ensuite comparés à ce qui se passe lorsqu'on ajoute la troisième poulie au dispositif pour montrer que sa fonction consiste simplement à changer la direction dans laquelle on peut faire agir la force.

... aide à
la discrimination
et à la
configuration

Lorsque l'interprétation d'un schéma repose sur la connaissance de symboles et de conventions, on peut utiliser l'animation, soit pour les remplacer par une représentation plus directe, soit pour expliquer comment ils doivent être lus. Par exemple, sur la figure 2, où l'on veut montrer les trois étapes principales d'une réaction (la dernière étape comportant deux issues possibles), le processus est tranché et des groupes de molécules disposés sur la page dans des positions relatives arbitraires, si l'on veut utiliser la convention distance = temps. Sur le schéma, le changement délibéré du statut de l'espace, qui est en fait utilisé pour décrire le comportement des molécules au cours du temps, exige de la part de l'étudiant des capacités d'interprétation supplémentaires. Le traitement approprié du schéma tel qu'il est donné figure 2, oblige selon toute probabilité l'étudiant à exécuter, mentalement, des transformations pour générer des modèles internes dynamiques de scénarios rendant compte d'une collision efficace ou non efficace. Ces transformations ne sont possibles que si l'étudiant peut décoder les systèmes de symboles et des conventions utilisés dans le schéma sta-

... aide au
décodage des
conventions

des potentialités
variées de
l'animation

tique pour représenter d'une part le temps, d'autre part les deux scénarios possibles. L'animation de ce schéma supprimerait la nécessité de cette compétence, qui n'a rien à voir avec le contenu lui-même mais seulement avec les limites de la forme de présentation. Chacun des deux scénarios (collision efficace, collision non efficace) pourrait donner lieu à une animation distincte. Une présentation en parallèle permettrait aux étudiants de comparer directement les vitesses des molécules dans les deux scénarios et d'établir une relation de cause à effet. Une animation de ce schéma pourrait aussi permettre aux étudiants une interaction quasi-physique avec le schéma : déplacer par exemple, avec la souris, les molécules lentement ou rapidement pour mettre à l'épreuve l'effet de différentes vitesses de collision. Un autre type d'animation pourrait permettre de travailler sur la représentation statique : sans changer fondamentalement le schéma, on pourrait modifier sa présentation et le traitement graphique des éléments afin de clarifier la façon dont sont utilisés symboles et conventions. Par exemple, les deux scénarios pourraient être présentés indépendamment l'un de l'autre plutôt qu'ensemble. La collision non efficace pourrait alors être présentée la première, ses trois étapes étant montées en séquences disposées sur l'écran de gauche à droite. Cette présentation pourrait s'accompagner d'un commentaire parlé, à disposition de l'utilisateur, décrivant la convention utilisée, de telle sorte que les étudiants puissent se concentrer sur un matériel visuel porteur de signification. Le texte écrit sur le schéma devrait, dans un premier temps, être réduit au maximum afin de ne pas monopoliser l'attention des étudiants, leur permettant ainsi de la consacrer au matériel graphique présenté. Puis le scénario de collision non efficace pourrait s'effacer progressivement de l'écran et céder la place à celui de la collision efficace. Cela pourrait conduire à la combinaison des deux scénarios présentés sur le schéma statique unique de la figure 2.

Le multimédia s'avère fort utile pour essayer de résoudre le problème crucial du manque de connaissances de base des étudiants dans le domaine de référence des schémas. Une des principales raisons des difficultés d'interprétation des schémas par les étudiants est que ces schémas sont arrachés de leur contexte, par exemple, le sismographe illustré à la figure 1 n'est accompagné que d'informations symboliques quant à son environnement, si bien que c'est à l'étudiant d'inférer que la base du dispositif est fixée sur une structure rocheuse faisant probablement partie d'une zone géologique instable. En plus d'une limitation draconienne de l'environnement spatial, le schéma ne présente qu'un "instantané" du fonctionnement du sismographe - un instant particulier dans le temps. Il n'y a aucune référence explicite aux événements formant un contexte temporel plus vaste, si bien que ceux-ci doivent également être induits par interprétation de la trace sur le cylindre enregistreur. Pour être capable de se livrer à de telles inférences quant à l'origine

relier à un
environnement
spatio-temporel

des variations de la trace sur le tambour, l'observateur doit déjà disposer d'un modèle mental relativement correct de certains aspects du système décrits par le schéma. Ce ne sera probablement pas le cas des étudiants auxquels on distribue un tel schéma dans le cadre d'une initiation aux phénomènes géologiques fondamentaux. Il serait relativement simple de faire appel à l'informatique pour présenter le contexte spatial et temporel du sismographe de façon claire, de telle sorte que les étudiants ne soient pas obligés de se livrer à des inférences lointaines. L'initiation au sismographe pourrait utiliser une animation le situant dans une région géologiquement active avant de "zoomer" sur l'instrument lui-même et de montrer comment la formation rocheuse à laquelle il est fixé est soumise à des chocs qui se propagent dans la région. En animant le cylindre, de façon à ce que l'étudiant puisse le voir en rotation et en utilisant la souris pour sélectionner la force des ondes de choc reçues par le sismographe, on pourrait faire établir une relation entre la taille des pics sur le graphe et l'ampleur de la perturbation géologique. Cette interaction aiderait l'étudiant à concentrer ensuite son attention sur les aspects clés du fonctionnement même du sismographe nécessaires à la compréhension des liens entre secousse et trace sur le graphe.

Par opposition à la majorité des images réalistes de la vie quotidienne que les étudiants rencontrent à l'extérieur de leur classe de science, l'interprétation des schémas scientifiques exige une approche précise, analytique et extrêmement systématique. Les modes de lecture spontanés et les façons de "traiter" d'autres sortes d'images sont souvent insuffisants pour traiter efficacement un schéma. C'est pourquoi il est important d'aider les étudiants à mettre au point un répertoire de capacités généralisables qui leur permettra de se lancer de façon efficace et assurée dans le processus souvent exigeant de l'interprétation des schémas. Le multimédia pourrait aider les étudiants à développer de telles capacités en montrant des façons efficaces d'extraire l'information contenue dans un schéma. Plutôt que de leur présenter simplement un schéma, comme s'il se passait d'explication, il faudrait impliquer les étudiants dans des activités d'entraînement à une recherche structurée de son contenu. Reprenons, par exemple, la figure 2. Elle comporte une structure à grande échelle, lisible de gauche à droite faisant apparaître trois étapes principales (avant, pendant et après la collision). On pourrait au cours du commentaire oral attirer l'attention des étudiants sur cette structure du schéma statique en "éclairant" successivement chaque étape ou en "encerclant" chacune de ces étapes. Une fois cette structure à grande échelle identifiée, un traitement plus détaillé de la troisième étape en utilisant des techniques d'animation similaires pourrait permettre de distinguer une collision efficace et une collision non efficace. On pourrait ensuite faire appel à l'interactivité pour aider les étudiants à

entraîner au
décodage des
schémas

se rendre compte qu'il y avait deux façons de parcourir les trois étapes du schéma, l'une qui débouche sur des produits et l'autre dans laquelle on retrouve les molécules d'origine. La souris pourrait être utilisée pour cliquer sur les étapes correspondant à un des scénarios puis à répéter l'opération pour l'autre scénario. Les molécules concernées pourraient être "éclairées" lorsque l'étudiant cliquerait dessus pour rendre visible la chaîne des événements de chaque scénario. On pourrait également présenter le schéma sans le troisième état et demander de "construire" ce troisième état, à partir des "objets" disponibles dans l'état 2, dans le cas d'une collision efficace. Pour cela il suffirait de cliquer sur l'un des atomes d'iode puis de déplacer une copie d'atome d'iode pour former la molécule de diode. Cette molécule serait placée là où elle apparaît dans le schéma complet. L'étudiant effectuerait ensuite une opération similaire pour générer la molécule de dihydrogène.

CONCLUSION

Le recours aux multimédias pour l'enseignement des sciences étant de plus en plus répandu, il est important que le matériel produit soit conçu avec soin pour que animations et interactions répondent aux attentes. En ce qui concerne l'augmentation de l'efficacité pédagogique des schémas, les puissantes capacités de traitement de l'information qui caractérisent l'informatique ne produiront pas par elles-mêmes une amélioration de l'apprentissage. Ce sont des aspects plus fondamentaux qui sont en jeu, impliquant la façon dont les personnes traitent les informations contenues dans les schémas. Si les étudiants ont des problèmes avec des schémas qui sont normalement censés les aider à apprendre la science, cela veut dire qu'il faut fournir aux étudiants des moyens pour les aider à utiliser ces schémas de façon plus efficace. Les propositions illustrées ici ont pour objectif de faciliter le processus de construction de modèles mentaux appropriés à partir de schémas. Elles reposent sur des principes généralisables largement applicables, tant au niveau du thème traité, que des types de schémas utilisés et des méthodes d'enseignement. Du fait que l'élève est au centre de ces préoccupations, les exigences d'un enseignement multimédia à partir de schémas efficaces sont donc les mêmes que celles qui s'appliquent dans une salle de classe "traditionnelle".

ne pas décevoir
les espoirs

Dans cet article, nous avons limité nos considérations de traitement multimédia hypothétique des schémas à quelques exemples. Ils ont été utiles pour envisager certaines possibilités mais ils ne sont pas "la" réponse définitive quant à la façon la plus efficace de traiter un contenu donné dans un environnement d'apprentissage multimédia. Les sources évoquées de difficultés d'étudiants confrontés

dans l'attente
d'études
empiriques

aux versions statiques des schémas originaux relèvent avant tout de la spéculation. Seules des études empiriques détaillées, s'intéressant à ce que la population cible des étudiants fait réellement avec ces schémas, pourrait fournir une base fiable pour estimer les sources réelles de difficultés. Si les spéculations s'avéraient correspondre à la réalité, l'application des principes discutés dans cet article ne pourrait fournir que des lignes directrices expérimentales quant au type d'animation interactive le mieux adapté pour chaque schéma. Une fois de plus, il faudrait faire appel à un travail empirique pour aller plus loin. Néanmoins, l'adoption d'une approche fondée sur une théorie, telle qu'elle a été proposée ici, serait une première étape permettant de s'éloigner des solutions superficielles et purement intuitives qui dominent actuellement la production de nombreux outils multimédia.

Richard K. LOWE
Faculty of Education,
Curtin University,
Western Australia

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHANDLER, P., & SWELLER, J. (1992). "The split-attention effect as a factor in the design of instruction". *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233-246.
- HEGARTY, M. (1992). "Mental animation : inferring motion from static displays of mechanical systems". *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 18, 1084-1102.
- JOHNSON-LAIRD, P.J. (1983). *Mental models*. Cambridge : Cambridge University Press.
- LARKIN, J.H., & SIMON, H.A. (1987). "Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words". *Cognitive Science*, 11, 65-100.
- LEVIN, J.R., ANGLIN, G.J., & CARNEY, R.N. (1987). "On empirically validating functions of pictures in prose". In D.M. Willows and H.A. Houghton (Eds.), *The psychology of illustration* (Vol.1, pp 51-85). New York : Springer-Verlag.
- LOWE, R.K. (1989). "Search strategies and inference in the exploration of scientific diagrams". *Educational Psychology*, 9, 27-44.
- LOWE, R.K. (1993a). "Constructing a mental representation from an abstract technical diagram". *Learning and Instruction*, 3(3), 157-179.
- LOWE, R.K. (1993b). *Successful instructional diagrams*. London : Kogan Page.

- LOWE, R.K. (1994a). "Diagram prediction and higher order structures in mental representation". *Research in Science Education*, 24, 208-216.
- LOWE, R.K. (1994b). "Selectivity in diagrams : Reading beyond the lines". *Educational Psychology*, 14, 467-491.
- MAYER, R.E. (1989). "Models for understanding". *Review of Educational Research*, 59(1), 43-64.
- MAYER, R.E., & ANDERSON, R.B. (1992). "The instructive animation : Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning". *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- MAYER, R.E., & GALLINI, J.K. (1990). "When is an illustration worth ten thousand words ?" *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- MAYER, R.E., & SIMS, V. (1994). "For whom is a picture worth a thousand words ? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning". *Journal of Educational Psychology*, 86, 389-401.
- SCHNOTZ, W., & KULHAVY, R. (1994). *Comprehension of graphics*. Oxford : Pergamon Press.
- WINN, W.D. (1991). "Learning from maps and diagrams". *Educational Psychology Review*, 3, 211-247.
- WINN, W.D. (1993). "An account of how readers search for information in diagrams". *Contemporary Educational Psychology*, 18, 162-185.
- WINN, W.D., & HOLLIDAY, W.G. (1981). *Learning from diagrams : theoretical and instructional considerations*. Paper presented at the annual convention of the Association for Educational Communication and Technology, Philadelphia, April.