

REVUE FRANÇAISE
DE
PÉDAGOGIE

Revue française de pédagogie

Recherches en éducation

160 | juillet-septembre 2007
Les jeux du formel et de l'informel

Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ?

Are multimedia interactive activities efficient in learning

¿Son eficaces las animaciones interactivas multimedia para el aprendizaje?

Sind die interaktiven Multimedia-Vorstellungen tatsächlich wirksam zum Lernen?

Jean-Michel Boucheix et Jean-François Rouet



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rfp/832>

DOI : 10.4000/rfp.832

ISSN : 2105-2913

Éditeur

ENS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2007

Pagination : 133-156

ISBN : 978-2-7342-1096-2

ISSN : 0556-7807

Référence électronique

Jean-Michel Boucheix et Jean-François Rouet, « Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ? », *Revue française de pédagogie* [En ligne], 160 | juillet-septembre 2007, mis en ligne le 01 septembre 2011, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/rfp/832> ; DOI : 10.4000/rfp.832

NOTE DE SYNTHÈSE

Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ?

Jean-Michel Boucheix, Jean-François Rouet

Avec l'augmentation croissante de l'usage des technologies de l'information et de la communication, l'utilisation d'animations multimédias interactives pour apprendre est de plus en plus fréquente dans différentes disciplines. Motivantes, les animations semblent particulièrement adaptées pour optimiser et concrétiser de façon réaliste la compréhension et l'apprentissage de concepts portant sur des processus dynamiques, des phénomènes complexes et invisibles en sciences et en technologie. Mais ces animations interactives sont-elles vraiment efficaces pour l'apprentissage ? Dans cet article, nous proposons un bilan des recherches réalisées dans le domaine et nous proposons des perspectives pour l'utilisation pédagogique des ces nouveaux formats dynamiques et interactifs de construction des connaissances.

Descripteurs (TEE) : acquisition de connaissances, compréhension, formation de concept, hypermedia, système multimédia, usage didactique de l'ordinateur.

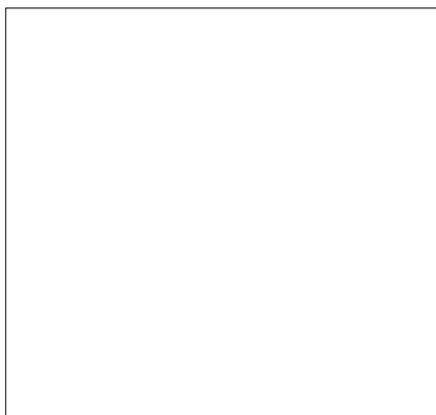
Les animations graphiques (séquences d'images associées à des commentaires oraux ou écrits, représentant des phénomènes complexes, scientifiques ou autres) connaissent une vogue croissante, en raison de leurs multiples vertus supposées. Une animation peut être défini comme « toute application qui génère une série d'images, de manière que chaque image apparaisse comme une altération de l'image précédente, et où la succession des images est déterminée soit par le concepteur, soit par l'utilisateur » (Bétrancourt, 2005). Par rapport à des documents statiques (dans lesquels rien ne bouge), les animations auraient le pouvoir d'attirer l'attention et d'accroître l'intérêt et la motivation du lecteur pour l'information présentée (Lowe & Schnotz, 2005). Elles permettraient surtout de présenter de manière concrète des phénomènes complexes, comme l'enchaînement des roues dans un système d'engrenage, la circulation des molécules dans le système nerveux ou encore la dynamique des flux migratoires internationaux, pour ne prendre que quelques exemples (Boucheix & Guignard, 2005).

L'intérêt pédagogique suscité par les animations dans les apprentissages a débuté bien avant l'introduction de l'ordinateur, notamment à travers l'usage éducatif de la télévision et des films à visée formative. Une idée fréquemment avancée était que, comme la radio au début du xx^e siècle, la télévision, et d'une manière générale les techniques de l'audio-visuel allait « révolutionner » l'apprentissage et donner à l'écrit une place moins exclusive, par exemple pour comprendre la géométrie, la géographie ou encore l'histoire (Mayer, 2001 ; Salomon, 1979 & 1981). Mais cet intérêt a connu un regain très net depuis une quinzaine d'années, en raison de l'évolution rapide des technologies numériques. De nos jours, la plupart des ordinateurs personnels permettent d'afficher non seulement des textes illustrés, mais aussi des images dynamiques, films vidéos ou animations graphiques. L'enjeu éducatif que représente la possibilité de simuler à l'écran des phénomènes complexes, invisibles apparaît très important à l'école, et dépasse même le cadre scolaire. Par rapport à l'effort que nécessite la compréhension d'un texte écrit (Fayol, 1992 ; Gaonac'h & Fayol, 2004) scientifique ou technique, on imagine sans peine le bénéfice que pourraient tirer les élèves grâce à des animations réalistes qui permettraient d'appréhender de façon simple et efficace et réaliste des notions scientifiques, techniques complexes (Boucheix, 2006) – pour lesquelles, par exemple, plusieurs processus dynamiques opèrent simultanément, voir les exemples de la figure 1 – à l'école, au musée, ou encore dans la vie courante.

Le présent article se propose de faire le point sur les recherches menées dans le domaine de la psychologie cognitive et de l'ergonomie afin de tenter de dégager les impacts véritables des représentations animées interactives sur la compréhension et l'apprentissage de tâches, et de fournir des repères pour l'action éducative et l'utilisation de telles animations dans les apprentissages scolaires et professionnels.

Les recherches concernant le rôle des illustrations animées dans la compréhension de documents multimédias connaissent un développement récent (voir

Figure 1. – Deux exemples de documents qui, animés, peuvent aider des élèves à comprendre des phénomènes complexes.
À gauche, un document décrivant comment une chasse d'eau fonctionne (tiré du site : *How Stuff Works*, <http://www.howstuffworks.com/>).
À droite, l'évolution du temps sur une carte météorologique (d'après Lowe, 1999). Image reproduite avec l'aimable autorisation de l'auteur



les synthèses de Bétrancourt, & Tversky, 2000 ; Bétrancourt, 2005 ; Jamet, 2002 ; Mayer, 2001, et aussi Boucheix & Rouet, 2005). Nombre des travaux actuels concernent l'adulte ou l'élève avancé mais peu l'enfant ou le jeune élève (Boucheix & Guignard, 2005). Pour des raisons à la fois techniques, administratives et déontologiques, il est en effet beaucoup plus facile de réaliser des expériences contrôlées avec des publics d'étudiants qu'avec des élèves d'école primaire ou des adultes en formation professionnelle. Quoi qu'il en soit, les résultats jusqu'à présent recensés dans les études expérimentales ne sont en général pas encourageants et sont contradictoires. Comparativement à une illustration statique, l'animation semble loin d'apporter une amélioration systématique de la compréhension ou des apprentissages.

Pourtant, le rôle positif des illustrations statiques dans la compréhension de phénomènes complexes (comme par exemple le fonctionnement d'une pompe ou encore le phénomène de la foudre, dans les recherches de Mayer et ses collègues) est fréquemment attesté dans de nombreux travaux, à condition que ces illustrations soient explicitement reliées aux concepts évoqués dans le texte. Les illustrations favorisent la compréhension, entendue comme la construction de représentations internes des situations, encore appelées modèles mentaux (Johnson-Laird, 1983). On pourrait alors penser intuitivement que les animations possèdent « naturellement » des caractéristiques efficaces pour transmettre des informations portant sur des mouvements, des changements dans le temps et dans l'espace (Bétrancourt & Tversky, 2000). En particulier, les animations peuvent reproduire le « réalisme comportemental » des phénomènes décrits (Lowe & Schnotz, 2005). La notion de « réalisme comportemental » correspond à l'idée que l'animation reproduit de manière strictement identique à la réalité, à la fois l'organisation visuo-spatiale des éléments du processus décrit, le comportement des éléments et le temps du processus décrit. Mais, les études aboutissent à des résultats contradictoires. Pourquoi ?

Un premier article de synthèse de M. Bétrancourt et B. Tversky (2000) a passé en revue douze études expérimentales comparant généralement l'effet de modalités de présentation statiques ou animées du même contenu de l'illustration sur la compréhension du processus décrit. Dans ces travaux la compréhension La compréhension était mesurée après l'expérience en utilisant soit des questionnaires écrits à choix multiple, soit des situations d'application du contenu appris à des cas variés, soit encore des situations de résolution de problème concernant le processus décrit (nécessitant des inférences). Parmi ces études, sept seulement conduisaient à un effet des animations, et souvent relativement faible. En outre, dans plusieurs travaux il s'agissait seulement de comparer une version avec une illustration animée ou dynamique à une version sans illustration, ce qui empêchait toute conclusion concernant le rôle réel de l'animation elle-même. Dans une analyse plus récente, B. Tversky, J. Bauer-Morrison et M. Bétrancourt (2002) ainsi que M. Bétrancourt (2005) montrent que deux facteurs principaux expliquent soit la supériorité de la performance observée dans des conditions animées comparativement à des illustrations statiques, soit l'absence de différence ou même les effets négatifs parfois relevés. Le premier facteur concerne la nature même des informations propres aux animations comparativement à celles propres aux illustrations statiques. Ce facteur pose la question des différences entre un média animé et un média statique. Qu'est-ce qu'une animation et quelles informations délivre son déroulement continu ? Le deuxième facteur a trait aux difficultés de traitement par le système cognitif des informations animées.

Dans la suite de cet article, nous présentons d'abord en détail ces deux aspects des animations, en expliquant pourquoi ils semblent avoir autant d'importance pour

le traitement et la compréhension de ce type de documents. Puis, nous décrivons les travaux qui ont tenté de pallier les problèmes posés par le traitement d'information dynamiques, bien que nous n'ayons toujours pas de modèle élaboré du traitement des animations par les êtres humains (Lowe & Boucheix, 2007). Ensuite nous évoquerons le problème des relations entre information verbale (écrite ou orale) et image animée dans le traitement des documents électroniques. Enfin, nous essaierons de montrer dans quelles conditions des animations pourraient être utilisées plus efficacement. Au cours de cette synthèse, nous renverrons aux références originales de recherches présentées. Les notions techniques qui seront abordées seront définies et nous renverrons également à la lecture d'ouvrages de synthèse accessibles (Rouet, Germain & Mazel, 2006 ; Gaonac'h & Fayol, 2004 ; Rouet, 2005 ; Gentaz & Dessus, 2004 ; Piolat, 2006).

QU'EST-CE QU'UNE ANIMATION COMPARATIVEMENT À UNE ILLUSTRATION STATIQUE ?

Confronté à une image statique (dans un livre par exemple) présentant un phénomène dynamique, l'élève doit inférer mentalement le processus décrit et représenté par l'image. Au contraire, face à une animation dynamique la tâche de l'élève est plutôt de suivre perceptivement le processus animé. Donc, dans le premier cas l'apprenant simule activement le processus décrit alors que dans le deuxième cas l'apprenant visualise l'animation. La grande majorité des études scientifiques publiées jusqu'à ce jour (Mayer, 2005 ; Tversky, Bauer-Morrison & Bétrancourt, 2002) est loin de montrer une supériorité systématique d'une présentation dynamique par rapport à une présentation statique pour la compréhension et l'apprentissage. De plus, cette supériorité pourrait être liée à la nature et à la quantité d'information à traiter, toutes deux différentes dans les deux formats. En effet, l'animation présente l'ensemble des étapes (et des micro-étapes) du processus décrit (états du phénomène et transitions entre les états), du début à la fin, ce qui n'est pas le cas du document statique pour lequel l'apprenant doit inférer le fonctionnement du système à partir d'une image unique. Ainsi, les bénéfices en compréhension constatés ne seraient pas dus à l'animation en elle-même, mais à l'existence d'informations supplémentaires dans le document animé par rapport à un document statique portant sur le même sujet.

En fait, lorsque l'on essaye de mieux contrôler la quantité d'information transmise en comparant une animation non pas à une image unique mais à une série de planches statiques décrivant successivement les étapes clés du processus étudié, les résultats ne montrent plus de supériorité des animations. Souvent les meilleurs résultats sont obtenus avec la série de planches statiques. Par exemple E. Schneider & J.-M. Boucheix (2004) ont montré que des élèves parvenaient aussi bien à comprendre le fonctionnement d'un système mécanique de poulies en utilisant une animation qu'une série de planches statiques présentant simultanément cinq états clés du système (figure 2). Ces deux versions (série de planches et animations) donnaient lieu à de meilleures performances qu'une version présentant une image statique unique.

Dans une étude du même type, concernant des leçons portant sur plusieurs thématiques différentes (fonctionnement d'une pompe à vélo, processus de formation des éclairs avant l'orage, système de chasse d'eau et processus de formation des vagues de l'océan), R. E. Mayer, M. Hegarty, S. Mayer et J. Campbell (2007) ont montré que les apprenants parviennent à une compréhension plus circonscrite

Figure 2. – Représentations séquentielles (en haut) et unique (en bas) utilisée dans les travaux de J.-M. Boucheix et E. Schneider sur le raisonnement mécanique. La version de droite peut être statique ou animée (© Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement [LEAD] Unité mixte de recherche, CNRS-université de Bourgogne, 2004)

et plus approfondie (à travers des questions posées après la leçon et nécessitant de faire des inférences) en utilisant un document statique séquentiel (série de planches) qu'une version animée contrôlable par le participant. Dans la recherche de E. Schneider et J.-M. Boucheix (2004), c'est lorsque les cinq états-clés du fonctionnement du système de poulies sont présentés simultanément sur la même planche et non pas successivement les unes après les autres que la compréhension est la meilleure. La version simultanée autorise plus facilement que la version successive des activités de comparaison active entre les étapes du fonctionnement du système. Enfin, il est important de signaler que dans cette étude, les versions animées ou séquentielles aident aussi les élèves disposant d'aptitudes spatiales faibles ou n'ayant pas de connaissances préalables sur le domaine. Les aptitudes spatiales sont généralement évaluées avant l'expérience, avec des tests psychologiques spécifiques au cours desquels on demande, par exemple, à l'individu d'étudier un arrangement d'objet présenté sur une image, puis de retrouver parmi une série d'arrangements des mêmes objets l'image qui correspond au premier arrangement présenté vu de derrière. Ce type de tâche implique pour l'apprenant la mise en œuvre d'activité d'imagerie interne de type rotation mentale des représentations des objets présentés (pour une présentation accessible, voir Gaonac'h & Golder, 1995 & Gentaz & Dessus, 2004).

Un autre problème soulevé par les études portant sur le rôle des animations dans la compréhension de processus dynamiques réside dans le fait que les versions animées sont souvent plus interactives que les versions statiques ou exigent des individus de réaliser des prédictions (pouvant être suivies d'un *feed-back*) sur le comportement des éléments en jeu. La propriété d'interactivité explique également la production de meilleures performances de compréhension. C'est ce que montre une étude de R. E. Mayer et K. Chandler (2001) dans laquelle une augmentation minimale de l'interactivité d'une courte leçon animée sur les éclairs (une présentation par étape contrôlable par un simple « clic » était comparée à une présentation complète au rythme fixée par l'ordinateur) conduit à une meilleure performance de compréhension. Cependant, il reste encore à démontrer qu'une présentation « statique interactive » des micro-étapes du processus décrit soit plus efficace qu'une version animée. Même un contrôle rigoureux des versions présentées n'aboutit pas plus systématiquement à un effet des animations (Rouet *et al.*, 2002).

Enfin, dans d'autres études, les animations n'engendrent pas de bénéfice d'apprentissage, ou se montrent bénéfiques seulement pour les apprenants qui possèdent des connaissances préalables concernant le domaine étudié, voire même entraînent des effets négatifs. Par exemple, dans une étude expérimentale réalisée dans le cadre de la formation des étudiants en météorologie, R. K. Lowe (2004) a montré que seuls les météorologistes confirmés disposant de connaissances préalables bénéficiaient de présentations animées des cartes météorologiques dans une tâche de prédiction du temps. Les apprenants débutants ne disposant pas de bases conceptuelles suffisantes, avaient tendance à fonder leurs prédictions sur les informations dynamiques perceptivement saillantes mais peu utiles au détriment des informations thématiquement pertinentes mais moins perceptivement saillantes.

Au total, M. Bétrancourt et B. Tversky (2000) soulignent que l'animation est utile lorsque le contenu à transmettre « *implique un mouvement, une trajectoire, un changement dans le temps ou une transformation spatiale de telle manière que l'animation aide la construction d'un modèle mental du processus dynamique* » (p. 326, notre traduction ; *nous soulignons*). Cette définition peut donc s'appliquer à un ensemble très varié de contenus pédagogiques et de domaines disciplinaires. Mais doit-on différencier sur le plan des processus cognitifs le traitement d'un mouvement continu proche d'une vidéo ou d'une séquence d'actions contenant

une succession d'états et de transitions entre les états, d'une part, et le traitement d'une succession d'états, d'autre part ?

L'animation pourrait se montrer favorable lorsque la construction d'une représentation mentale dynamique est nécessaire pour comprendre le concept visé (et l'utiliser ensuite). L'animation soutiendrait alors le traitement cognitif nécessaire à la tâche de l'apprenant pour l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel – ce que R. E. Mayer (2001) appelle « *a runnable model* ». Une illustration dynamique serait alors plus efficace pour le traitement de concepts impliquant une transformation continue, rapide dans le temps et visible entièrement (comme par exemple un système mécanique) que pour la compréhension de notions impliquant plutôt la planification de transformations d'états avec un début et une fin distinctes. Ces derniers processus dynamiques sont souvent étudiés dans la littérature portant sur le traitement des animations (par exemple : le cycle de l'eau, la chaîne alimentaire, la formation des volcans etc.). Ils se déroulent généralement sur une plus longue période et ne sont généralement pas visible (entièrement) dans le monde réel. Dans ce dernier cas, l'élève pourrait se focaliser plutôt sur les résultats d'un phénomène atteint à partir d'un point de départ. Des successions (saccades) d'illustrations statiques ou présentées de façon séquentielle seraient alors suffisantes. Par exemple, l'animation pourrait se révéler plus profitable pour un contenu présentant un système d'engrenage (sens de rotations inversés, vitesses relatives au diamètre) que pour la présentation des étapes de la formation des volcans. Une série de planches statiques pourrait suffire pour que l'individu apprenne la succession de ces états dans le temps.

Une telle distinction semble valide lorsque l'on compare les résultats des recherches recensées par M. Bétrancourt et B. Tversky (2000) : l'effet des animations serait plus stable dans le cas de leçons relevant des mathématiques, de la physique (lois de Newton), du fonctionnement de systèmes techniques que dans le cas de contenus de type évolution temporelle « plus longue » vers un résultat (migration des cellules de l'embryon, développement des bactéries, procédures de programmation).

Néanmoins, même dans les cas les plus appropriés à une présentation dynamique, les résultats des recherches actuelles ne montrent pas une nette supériorité des animations pour aider à comprendre des phénomènes ou des notions dynamiques.

Comment expliquer ce résultat en apparence contre-intuitif ? Du fait du coût cognitif élevé de son traitement, une animation externe qui défile devant l'apprenant-sujet n'est peut-être pas le meilleur moyen d'aider l'élève à construire une représentation mentale dynamique précise. L'élaboration d'une telle représentation est pourtant l'objectif majeur de la compréhension d'une notion impliquant des mouvements. Trois types de difficultés ont été recensées : perceptives, attentionnelles et cognitives (cf. Bétrancourt & Tversky, 2000 ; Bétrancourt, 2005). Ces difficultés de traitement des représentations animées font l'objet de la partie suivante.

LES DIFFICULTÉS DE TRAITEMENT COGNITIF DES INFORMATIONS ANIMÉES : QUOI REGARDER, QUAND REGARDER, OÙ REGARDER ?

Compte tenu des limitations des ressources perceptives et cognitives des individus (Gaonac'h & Fayol, 2004 ; Gaonac'h & Golder, 1995 ; Gaonac'h & Passerault, 1995), une animation rapide et changeante s'avère difficile à percevoir et à traiter.

Elle serait ainsi difficilement « appréhendable » par le système cognitif et l'apprenant éprouverait des difficultés à extraire les informations pertinentes (trajectoires, directions). D'un point de vue perceptif tout d'abord, une animation réaliste peut se révéler difficile à traiter. À titre d'exemple, on peut évoquer les difficultés des peintres de la Renaissance (observateurs pourtant aiguisés) à reproduire fidèlement et sans erreur le mouvement de galop du cheval dans des tableaux figurant des cavaliers lors d'une bataille. Il a fallu attendre la photographie, la bande dessinée ou plus récemment la possibilité de ralentir et faire des pauses dans les vidéos pour mieux comprendre et visualiser la complexité du galop du cheval.

Ajoutons que, souvent, la vitesse de déroulement des animations s'avère trop grande tout en étant séparée de l'apparition et de la lecture des différents blocs d'informations du texte. Une telle cadence pourrait être inadaptée au rythme cognitif de traitement et d'intégration de l'apprenant. R. K. Lowe et W. Schnotz (2005) évoquent à ce propos les difficultés de traitement engendrées par un trop grand « réalisme comportemental » des présentations de processus dynamiques. Ces difficultés s'accroissent encore en raison de trois aspects, souvent présents dans nombre d'encyclopédies documentaires utilisées à l'école quand il s'agit d'un enfant, lorsque le contrôle par le sujet sur le système est faible ou encore quand la consultation est peu interactive.

Ensuite, la charge attentionnelle provoquée par le traitement des animations apparaît également très importante (Rouet, 2005 ; Germain, Mazel & Rouet, 2007). L'extraction de l'information pertinente de l'animation est alors rendue très difficile. Dans la très grande majorité des études, on ne sait pas exactement où le sujet regarde ni ce qu'il traite réellement parmi tous les changements présentés dans l'animation. La détection de l'information pertinente, par exemple les éléments importants, les directions et les trajectoires se révèlent complexe. De ce fait, comme l'a montré R. K. Lowe (1999) dans le domaine de la météorologie, le traitement par des étudiants météorologistes « novices » d'animations (contrôlables) était inefficace. Ces apprenants tendaient à se focaliser sur les éléments et les mouvements perceptivement saillants (éléments de plus grande taille, ou qui bougent beaucoup par exemple) mais qui n'étaient pas forcément les plus importants thématiquement.

Par ailleurs, dans les documents électroniques grand public, l'utilisateur est généralement confronté à un contenu multiple, animation et texte, parfois sons et/ou narrations. Il doit partager son attention (Mayer, 2001) entre l'animation qui se développe et change, souvent indépendamment du contrôle de l'apprenant et le traitement du texte, celui-ci pouvant contenir un vocabulaire technique nouveau pour l'élève. Le déroulement de l'animation entraîne un renouvellement rapide des informations délivrées. Ces caractéristiques empêchent une réelle intégration d'un ensemble complexe et changeant (parfois très vite). Pour mieux comprendre l'ampleur de cette difficulté on peut exploiter l'analogie du cinéma. La visualisation d'un film en version originale sous-titrée implique pour le spectateur un partage de l'attention continu et synchronisé entre les images qui défilent et le texte, dont le contenu est rafraîchi très rapidement (parfois avant la fin de la lecture). On évoque souvent un traitement « superficiel » du mouvement, pouvant conduire à des effets négatifs pour la compréhension ou l'apprentissage.

M. Bétrancourt (2005) propose que la présentation d'une animation suive un « principe d'appréhension » : « la structure et le contenu de la représentation externe devraient être accessibles et efficacement perçus et compris » (p. 250, notre traduction). Compte tenu de la difficulté à percevoir les éléments en mouvement, le système cognitif opérerait préférentiellement un traitement de nature

Figure 3. – **Le mécanisme du piano droit, matériel développé dans l'étude de J.-M. Boucheix, R. K. Lowe et A. Soirat (© LEAD 2006)**

séquentielle et discret plutôt que d'élaborer directement, et de façon analogique, une représentation interne d'un mouvement continu. Une représentation externe d'un processus par étapes discrètes serait dès lors plus bénéfique qu'une animation parce que plus naturellement compatible avec les contraintes de traitement du système cognitif. Ainsi, la séquentialisation de la présentation des informations serait préférable dans certains cas à une présentation dynamique.

Enfin, lorsqu'elles sont très réalistes, les animations peuvent conduire à des interprétations erronées des processus décrits. Des erreurs dans la détermination des relations de causalité peuvent être produites lors de l'étude de l'animation. Ainsi, deux éléments dont le mouvement se déclenche simultanément peuvent apparaître comme reliés alors qu'ils ne le sont pas, ou bien encore, un élément qui apparaît en premier peut apparaître comme la cause d'un autre événement apparaissant plus tard. Par exemple, dans une étude récente, J.-M. Boucheix, R. K. Lowe et A. Soirat (2006), proposaient à des étudiants musiciens (pianistes) et non-musiciens de décrire le fonctionnement d'un mécanisme de piano droit à partir de l'étude d'une animation interactive totalement contrôlable (figure 3). Le mouvement des yeux des participants était enregistré.

L'une des erreurs relevées dans les descriptions issues des données de cette étude portait sur la relation de causalité entre le mouvement de la contre-attrape et celui du marteau (figure 3). Ces deux éléments sont perceptivement saillants, bougent simultanément et dans le même sens lorsque le marteau frappe la corde. L'erreur consiste à indiquer que la contre-attrape pousse le marteau alors que le marteau est propulsé par l'action des éléments plus centraux du système (chevalet et échappement) qui sont moins saillants mais tout aussi visibles.

Une autre difficulté du traitement des animations réside dans le fait que des individus confrontés à une présentation statique d'un dispositif doivent s'engager dans un traitement actif (simulation mentale du mouvement) alors que la confrontation à une situation dynamique pourrait générer un traitement moins actif. Dans ce dernier cas, l'animation ou la simulation proposée est réalisée « à la place des sujets » (Fayol, 2002). Une hypothèse alternative peut être évoquée. Un format statique pourrait s'avérer efficace pour engager un traitement actif uniquement

si le sujet possède des connaissances préalables sur le mouvement à anticiper, autrement dit s'il peut élaborer spontanément une représentation dynamique à partir d'une présentation statique. Certains jeunes élèves ne disposent peut-être pas de telles connaissances préalables, ou peuvent rencontrer plus de difficulté à s'engager dans de tels traitements cognitifs. Dans ce cas, ils pourraient plutôt bénéficier du soutien d'un format dynamique pour s'engager dans un traitement de l'animation.

D'autres travaux récents conduits par N. Marcus, A. Wong, P. Ayres, F. Paas et J. Sweller (2007) explorent une autre voie. Ces auteurs développent l'idée qu'il existe de nombreux faits dont celui relatif au rôle des neurones miroirs (Grafton *et al.*, 1996 ; Iacononi *et al.*, 1999) qui plaident en faveur de l'existence d'une mémoire de travail (pour une présentation de ce concept, Gaonac'h & Passerault, 1995) dédiée au traitement (commande, organisation) des mouvements. Ces auteurs font l'hypothèse d'une supériorité des animations sur les graphiques dans les apprentissages impliquant des mouvements (il ne s'agit plus là de tâches de compréhension de notions ou de mécanismes mais d'apprentissages de procédures). Ils ont conduit une expérience d'apprentissage des origamis. Le support était soit statique soit dynamique. Les résultats montraient une meilleure performance pour le groupe qui utilisait le support dynamique. Une seconde expérience répliquait la première avec une autre tâche où cette fois il s'agissait simplement de reconnaître des origamis antécédents : par rapport à un origami présenté il fallait choisir parmi quatre autres celui qui correspondait à la cible moins un pliage. Le résultat répliquait le précédent pour l'origami à réaliser, mais aucune différence n'était trouvée pour l'origami à reconnaître. La tâche de reconnaissance n'implique pas la mise en œuvre d'une activité de simulation mentale. Des travaux suivant cette ligne de recherche ont été récemment engagés dans le domaine des apprentissages moteurs en éducation physique (Gentili, Papaxanthis & Pozzo, 2006).

En résumé, il apparaît que comparativement à des illustrations statiques les animations ne conduisent pas systématiquement à une amélioration des performances de compréhension ou d'apprentissage. Cependant, plus que l'animation en elle-même, il apparaît que ce sont plutôt les modes de délivrance des informations animées qui sont susceptibles de générer des difficultés perceptives, attentionnelles et cognitives au cours des activités de compréhension. Les animations, en particulier quand elles sont réalistes, sont difficilement appréhendables par le système cognitif.

PEUT-ON AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES ANIMATIONS ?

Dans la partie précédente nous avons montré que les difficultés perceptives, attentionnelles et cognitives de traitement des animations tenaient surtout au mode de présentation des informations. Plusieurs voies sont possibles pour améliorer la présentation des animations et palier ainsi les difficultés de traitement. Les études récentes se sont particulièrement engagées dans deux de ces voies visant à améliorer « l'appréhendabilité » des animations. La première consiste à rendre la présentation des animations plus interactive. La deuxième cherche à orienter et à guider l'attention des apprenants, au bon moment, vers les informations pertinentes au cours du déroulement de l'animation en utilisant des techniques « d'indication » ou de signalisation. Ces signaux, graphiques (flèches directionnelles par exemple) ou verbaux (consignes) n'ajoutent pas d'information supplémentaire, mais visent à organiser le traitement des informations. Enfin, dans

le but de soutenir l'élaboration de représentations dynamiques internes, d'autres travaux ont ajoutés aux animations en cours de déroulement, des possibilités d'accès à des présentations séquentielles sous forme d'images statiques portant sur les étapes clés du processus décrit. Nous consacrerons cette dernière partie à la présentation des résultats des travaux ayant exploré ces voies pour améliorer la présentation des animations.

L'interactivité ou le contrôle sur le déroulement des animations

Une première solution est de rendre les animations contrôlables par l'apprenant, en lui fournissant un environnement plus interactif. On peut penser en effet qu'une situation pertinente pour soutenir l'activité de compréhension pourrait consister à permettre à l'individu de revoir, arrêter, ou contrôler (au moins partiellement) le déroulement des animations. C'est ce que montre une étude de R. E. Mayer et P. Chandler (2001) dans laquelle sont comparées deux modalités de présentation d'une animation avec narration (orale) portant sur la formation de la foudre. Dans la première, l'apprenant peut exercer un contrôle étape par étape de la narration animée. Dans la seconde, il est, en revanche, confronté à une version sans possibilité de contrôle et à vitesse fixée. Les résultats montrent que les apprenants ayant travaillé dans le cadre de la première condition obtiennent de meilleurs résultats de compréhension que les participants ayant été placés dans la deuxième. Ce résultat concerne en particulier la possibilité de transfert, c'est à dire l'application des notions apprises, pendant la tâche de compréhension, à un contenu différent. Dans cette expérience, le contrôle était minimal puisqu'il portait sur la cadence des diapositives animées et non sur le déroulement des animations elles mêmes à l'intérieur des diapositives. Dans une étude similaire (Boucheix & Guignard, 2005), réalisée avec des enfants de CM1 et CM2, les élèves obtiennent de meilleurs résultats de compréhension lorsqu'ils s'auto-présentent les diapositives portant sur une leçon multimédia concernant le fonctionnement des systèmes d'engrenage. Il faut noter, toutefois, que, comme dans le travail de R. E. Mayer & P. Chandler (2001) les élèves contrôlent le rythme de présentation des diapositives mais pas le déroulement de l'animation elle-même.

Dans des études plus récentes l'intérêt a été porté sur le contrôle par l'apprenant de l'animation elle-même : la possibilité d'arrêter, de ralentir, d'accélérer, de faire revenir en arrière l'animation au moyen de boutons de contrôle ou à l'aide de la souris. Par exemple, dans une recherche portant sur la réalisation de nœuds marins, S. Schwan et R. Riempp (2004) ont comparé l'apprentissage à partir d'une vidéo interactive dans laquelle l'élève peut contrôler le déroulement de l'action présentée à l'écran (arrêts, pauses, retour en arrière ralentissement, accélération etc.) à l'apprentissage à partir d'une vidéo fixe non-interactive (l'apprenant doit attendre la fin de l'action et peut la faire repartir au début). Les résultats montrent que les apprenants réussissent plus rapidement les nœuds dans le cas de la présentation interactive et qu'ils utilisent massivement les potentialités offertes par le contrôle sur la vidéo. Cependant, l'étude de S. Schwan et R. Riempp (2004) ne comportait pas de réel post-test pour vérifier la stabilité des acquisitions. Dans l'expérience, les mesures d'apprentissages utilisées ne concernaient que le temps de réalisation du nœud : le temps passé à l'observation des images et à la confection du nœud lui-même. Par ailleurs, les temps de réalisation des nœuds étaient très longs dans la condition non interactive et très courts dans la condition interactive. De ce fait, on peut penser que la version la plus interactive permettait de réussir le nœud par une stratégie d'imitation à très court terme à partir de la vidéo visionnée. Une telle stratégie était impossible dans la situation

Figure 4. – Image tirée d'une étude de J.-M. Boucheix et Fernandès (in Boucheix, 2007) sur la confection de nœuds marins à partir de vidéos, reproduite avec l'aimable autorisation des auteurs (© LEAD, 2007)

non interactive. La réalisation du nœud nécessitait un niveau de mémorisation de la procédure plus « profond » qu'avec la version interactive. Nous avons récemment testé cette hypothèse (Boucheix, 2007b). Pour cela, nous avons répliqué l'expérience de S. Schwan & R. Riempp (2004) en introduisant quelques différences. Nous avons proposé à quarante étudiants de psychologie de réaliser deux nœuds parmi ceux étudiés par S. Schwan & R. Riempp, un facile – nœud de cabestan – et un complexe – nœud de chaise – ; figure 4).

L'expérience se déroulait en deux phases. Durant la première, l'apprenant devait réaliser le nœud à partir de la vidéo comme dans la recherche de S. Schwan et R. Riempp (2004). De plus, les mouvements oculaires du sujet étaient enregistrés à l'aide d'un appareil de capture de mouvements oculaires mobiles (*Eye Tracking*). Durant la deuxième phase, trois jours après – le sujet avait été informé qu'il venait pour une autre tâche de vérification d'aptitude – il lui était demandé de refaire chaque nœud, en temps limité. Pour la première phase, les résultats obtenus sont similaires à ceux de S. Schwan et R. Riempp : la version interactive permet de réaliser plus rapidement les nœuds. En revanche, trois jours après : la version la moins interactive conduit à de meilleures performances que la version interactive. La version la moins interactive semble avoir laissé une trace plus précise en mémoire. Les versions interactives, si elles permettent de réussir plus rapidement, ne garantissent pas pour autant la mémorisation à plus long terme. Par ailleurs, l'étude des allers et retours entre la vidéo et la réalisation du nœud, réalisée à partir des données des mouvements oculaires, indique que ces allers et retours sont très nombreux dans la version interactive, alors qu'ils apparaissent quasiment inexistantes dans la version non interactive. Cela milite en faveur de l'existence d'une activité d'imitation dans le cas de la version interactive. Néanmoins le travail de S. Schwan et R. Riempp (2004) montre que le contrôle de l'animation favorise l'apprentissage, au moins immédiat, de procédures d'action.

Cependant, dans d'autres domaines que l'apprentissage de procédures, ou d'actions concrètes, le contrôle sur l'animation n'entraîne pas toujours une amélioration des résultats. Par exemple, S. Tassini et M. Bétrancourt (2003) ont étudié la compréhension par des étudiants en sciences humaines du fonctionnement des

Figure 5. – **Le fonctionnement synaptique du système nerveux central.**
Document tiré des travaux de S. Tassini et M. Bétrancourt (2003),
reproduit avec l'aimable autorisation des auteurs

Sans contrôle

Contrôle partiel

Contrôle total

synapses du cerveau humain (potentiel d'action). Une version totalement contrôlable, avec un panneau de contrôle est comparée à une version partiellement contrôlable (bouton *pause/play*) et à une version non-contrôlable (figure 5).

Les résultats ne montrent pas de différence de compréhension entre les trois conditions. Une présentation continue de l'animation conduit à de meilleurs résultats que la présentation morcelée ; comme le montre aussi, M. Bétrancourt, P. Dillenbourg et L. Clavien (2007) en reprenant le matériel multimédia imaginé par R. K. Mayer et R. Moreno (1998) sur la formation de la foudre.

Par ailleurs, avec des enfants de CM1 et CM2, à propos d'une leçon multimédia animée concernant le fonctionnement des engrenages (programme de CM), J.-M. Boucheix (sous presse) a comparé le niveau d'apprentissage atteint avec une version dynamique non-contrôlable à celui réalisé avec deux versions dynamiques totalement contrôlables. Dans l'une de ces versions dynamiques, le contrôle sur le déroulement de l'animation était directement effectué sur les roues des engrenages avec la souris, l'élève manipulait lui-même la roue. Dans la deuxième, le contrôle était effectué indirectement avec une barre de contrôle sous l'animation (figure 6).

Les résultats ont montré des performances de compréhension meilleures dans la version non contrôlable comparativement aux deux autres versions. Le temps d'apprentissage est très long avec les versions contrôlables. Le partage des ressources attentionnelles entre le contrôle de l'animation et le traitement des informations verbales écrites devient très coûteux. Cela signifie que la gestion du système de contrôle peut entraîner une charge cognitive supplémentaire qui peut perturber l'activité de compréhension des élèves.

Les résultats des expériences sur le contrôle sur le déroulement des animations et plus généralement sur l'accroissement de l'interactivité suggèrent que la qualité de la compréhension (ou des performances de résolution de problème) dépend de la capacité des élèves à utiliser de façon pertinente les possibilités de contrôle ou d'interaction. En particulier, l'élève jeune avec peu de connaissances préalables, *pourrait rencontrer des difficultés à évaluer ses besoins d'information pour comprendre le contenu proposé*. Faute de connaissances préalables suffisantes, l'apprenant pourrait ne pas faire les bons découpages du processus décrit par l'animation, ne pas le séquencer correctement et faire des erreurs d'interprétation.

Figure 6. – Exemple des trois types de contrôle proposés aux élèves, tiré de J.-M. Boucheix (sous presse). La figure (a) illustre les animations dynamique et contrôlée directe. La différence se situe au niveau de la manipulation : les élèves placés dans la condition dynamique cliquent sur la roue bleue, alors que les élèves en contrôle direct cliquent sur la roue puis utilisent la souris pour faire fonctionner, et tourner à « leur main », les engrenages. La figure (b) présente le petit curseur (ou ascenseur) que les élèves de la modalité contrôle indirect utilisent pour animer les engrenages (© LEAD, 2006)

(a)

(b)

C'est aussi ce que montrent les travaux de R. K. Lowe (1999 & 2004) réalisés avec des météorologistes novices. Des versions contrôlables animées de cartes météorologiques ne leur permettent pas de prédire efficacement le temps futur, car faute de connaissances préalables, et de concepts pour effectuer un contrôle efficace, les élèves se centrent sur les aspects perceptivement saillants des animations qu'ils contrôlent au détriment des aspects thématiquement pertinents pour comprendre la signification des transformations spatiales.

Aussi, les possibilités d'interaction devraient être mieux partagées entre le système (l'ordinateur) et l'élève. Par exemple le système pourrait contraindre, c'est-à-dire fixer les séquences ou les étapes pertinentes du processus décrit, et laisser le contrôle à l'apprenant pour l'exploration fine de chaque étape elle-même. C'est ce que montre une étude de J.-M. Boucheix et E. Schneider (sous presse) : le contrôle partiel de séquences d'un système mécanique est bénéfique pour les élèves ayant de connaissances préalables faibles et des aptitudes spatiales peu élevées. ***Au cours de l'interaction avec une animation, la dimension qui semble cruciale est de savoir quelle est le bon point de vue pour étudier le processus décrit, c'est-à-dire quoi, quand et dans quel but regarder, plutôt que le niveau d'interactivité qui est donné à l'apprenant.***

Enfin, les possibilités de contrôle ou d'interactivité avec l'ordinateur ne règlent pas les difficultés attentionnelles impliquées par la visualisation des animations, au contraire. L'élève peut éprouver des difficultés dans la détection de l'information pertinente. De ce point de vue, un guidage attentionnel vers ce que l'élève doit regarder de l'animation pourrait s'avérer bénéfique pour le traitement explicite des informations dynamiques (et pour marquer ou cadencer les va-et-vient entre le texte et l'image).

Orienter l'attention : « l'indiciage » ou *signaling*

Une deuxième solution pour optimiser le traitement des animations consiste à diriger ou guider l'attention de l'apprenant, au bon moment, vers les informa-

tions pertinentes délivrées par l'animation. Les guidages attentionnels (qui ont parfois le statut de guidages « sémantiques »), peuvent prendre plusieurs formes. Il peut s'agir d'indices graphiques de type flèches (indiquant le sens de rotation par exemple) de numéros indiquant les séquences, de points ou traits de couleurs marquant les éléments pertinents, d'éléments ou de chaînes causales en surbrillance pour attirer l'attention sur des relations entre des éléments en action. Par exemple, dans les manuels scolaires, ce type d'indice est déjà exploité sur les cartes géographiques et historiques ou sur les schémas en biologie. C'est le cas de la flèche directionnelle qui apparaît comme l'un des indices les plus courants. Ces guidages attentionnels peuvent aussi prendre la forme de courts messages verbaux qui orientent l'activité du sujet ou qui spécifient le niveau cognitif pertinent pour le type d'informations à traiter.

Les premiers travaux ayant manipulé ce type d'indice dans des documents multimédias, dans le cadre d'illustration statiques, (Mayer, 2001) ont montré que l'introduction contrôlée d'informations visuelles qui signalent ou mettent en lumière des parties du dispositif, des relations, des aspects particuliers de la leçon animée, améliorent la compréhension comparativement à une version ne contenant pas de telles informations. De simples indicateurs permettant d'orienter l'attention vers les zones ou directions pertinentes à regarder au bon moment pourraient s'avérer également pertinents. Ils ne constituent pas un ajout important d'informations verbales susceptibles d'élever la charge cognitive (1) pour des apprenants, et fournissent les conditions minimales pour l'élaboration des inférences sur le fonctionnement du dispositif. L'effet de guidages attentionnels de ce type était testé dans l'étude de J.-M. Boucheix et H. Guignard (2005). Des élèves de CM1 et CM2 apprenaient le fonctionnement d'engrenages, puis la formation des volcans, avec une leçon multimédia animée (images dynamiques et texte). Deux versions étaient proposées. Dans la première, trois types d'indicateurs d'orientation attentionnels avait été introduits : des flèches indiquant le sens de rotation des roues, des comptes tours pour donner des informations sur la vitesse des engrenages et des courts messages verbaux (de type « regarde la roue A »). La deuxième version ne comportait pas de telles informations supplémentaires (figure 7).

Figure 7. – Dans cet exemple de diapositive, tirée de J.-M. Boucheix et H. Guignard (2005), des flèches (diapositive 1) et des comptes tours (diapositive 2) permettent d'obtenir directement des informations sur le sens de rotation des engrenages et sur les vitesses relatives de roues en fonction de leur diamètre (© LEAD, 2006)

Diapositive 1

Diapositive 2

Figure 8. – Le système de poulie muni de flèches directionnelles utilisé dans l'expérience de E. Schneider & J.-M. Boucheix (2007) (© LEAD, 2007)

Dans la plupart des recherches, plusieurs catégories de signaux sont conjointement utilisés pour diriger l'attention : flèches, consignes verbales etc. Nous avons donc peu de connaissances concernant le rôle et le traitement de chaque type d'indice dans la compréhension des animations ou plus largement des illustrations statiques.

L'ajout de flèches directionnelles à l'intérieur ou à l'extérieur d'illustrations statiques ou dynamiques a fait l'objet de quelques études. Dans une tâche de compréhension d'images statiques ou animées d'un système mécanique de trois poulies E. Schneider et J.-M. Boucheix (2007) ont comparé des versions avec ou sans flèches directionnelles (figure 8).

Les résultats ont montré que les flèches directionnelles avaient un effet positif sur la compréhension du fonctionnement du système pour les apprenants disposants d'aptitudes mécaniques et spatiales élevées. En revanche l'effet était négatif pour les participants disposant de connaissances mécaniques et spatiales moins élevées. En particulier, les données issues de l'enregistrement du mouvement oculaire indiquaient que si les participants utilisaient bien les flèches (surtout celle situées à l'intérieur du système), ils pouvaient rencontrer des difficultés dans l'interprétation de ces signaux (des erreurs de compréhension étaient relevées dans la condition flèches) et de leurs interactions. S. Kriz & M. Hegarty (2006) ont également montré que l'ajout de flèches directionnelles à un document illustré portant sur le fonctionnement d'un système mécanique de chasse d'eau n'avait aucun effet sur la compréhension. Ainsi, les flèches, signaux très fréquemment utilisés dans la vie quotidienne ne seraient pas toujours si simple à comprendre et pourraient se révéler ambiguës. En effet une flèche peut à la fois désigner un objet ou une direction.

En revanche, des signaux prenant la forme de courtes consignes qui orientent l'attention de l'apprenant vers les éléments pertinents du système décrit, et cela au bon moment du déroulement de l'animation, semblent être efficaces pour optimiser la compréhension et l'élaboration par les apprenants de représentations exhaustives, cohérentes et fonctionnelles du système présenté. E. Schneider et J.-M. Boucheix (2006) dans une expérience portant sur la compréhension de systèmes mécanique, ont montré que guider l'attention des participants vers le traitement des mouvements locaux des éléments du système avait un effet bénéfique sur la compréhension.

Les travaux sur la compréhension des graphiques et des illustrations en sont à leur début en comparaison des études ayant porté sur la compréhension des textes qui ont dominé la recherche en psychologie cognitive. On pourrait imaginer bien d'autres formes de signaux ou de guidages attentionnels. Par exemple, R. K. Lowe et J.-M. Boucheix (2007) ont conçu un système de signalisation interne à une animation portant sur le fonctionnement d'une touche de piano droit se présentant sous la forme d'un flux continue bicolore, contrôlable par le sujet et mettant en lumière les relations entre les éléments du système le long des deux chaînes causales (celle du marteau et celle de l'étouffoir (cf. figure 3). Comparativement à des flèches ce nouveau système s'est révélé très efficace comme aide cognitive pour la compréhension du fonctionnement de ce mécanisme de piano (voir aussi Mautone & Mayer, 2007).

Découper en séquences

Une troisième voie pour optimiser la compréhension de processus dynamiques consiste à découper l'illustration ou l'animation en séquences d'images statiques (comme dans la figure 2 par exemple). L'apprenant doit alors inférer et simuler mentalement les transitions entre les étapes présentées de façon à reconstituer de façon interne une animation. Les travaux réalisés dans ce domaine (Jamet, 2006) ont montré que la séquentialité avait un effet positif sur la compréhension de processus dynamiques. Néanmoins la nature des séquences choisies ainsi que leur nombre semblent constituer des paramètres cruciaux lors de la conception de présentations par étapes des processus dynamiques.

LES LIENS ENTRE LES ANIMATIONS ET LES INFORMATIONS VERBALES ORALE OU ÉCRITE QUI LES ACCOMPAGNENT

Il est important de souligner que la plupart des leçons présentées dans les recherches sur les animations ne contiennent pas seulement une information imagée mais aussi une information verbale (texte accompagnant l'illustration animée). Or, la présentation du texte entretient des liens physiques (spatiaux-temporels) et sémantiques avec l'animation. Ces liens entre information visuelle et textuelle semblent être un facteur majeur dans la compréhension, comme le montre R. Duval (1995) dans une analyse sémiologique de la convergence entre les registres de représentation. Ces liens sont également attestés dans des études de psychologie expérimentale portant sur la co-référenciation des informations verbales et imagées (Jamet, 2002), ou encore dans les études sur l'intégration spatiale du texte dans l'image elle-même (cf. figure 9).

Figure 9. – **Exemple de textes intégrés à une image complexe.**
Les zones de texte apparaissent au plus près des éléments de l'illustration
(tiré de *Science & Vie*, avril 2005, reproduit avec l'autorisation de l'éditeur)

Nous évoquerons ici trois facteurs principaux inhérents au texte qui peuvent affecter la qualité de la compréhension d'un document multimédia contenant un texte et une illustration animée. Le premier concerne la nature et la cohérence des informations textuelles en relation avec l'image : il s'agit du principe de cohérence entre le texte et l'illustration (animée ou statique). Le second facteur a trait à la modalité de présentation du texte qui peut être orale (c'est-à-dire entendue) ou écrite (c'est-à-dire lue) : il s'agit du principe de modalité. Le troisième facteur concerne la position du texte par rapport à l'image c'est à dire son intégration spatiale dans le document illustré (figure 9) : il s'agit du principe d'intégration spatiale.

Le principe de cohérence conceptuelle référentielle

Lorsque les relations entre les informations apportées par le texte et celles délivrées par les images sont ambiguës ou incohérentes, alors la compréhension peut-être perturbée. Un exemple intéressant a été étudié par S. Merlet (1998) et S. Merlet & D. Gaonac'h (1995). Il portait sur la compréhension par des étudiants de deuxième année de documents multimédias issus d'un logiciel destiné à l'apprentissage de l'anglais, langue étrangère (figure 10).

Les résultats ont montré que la présence d'image accompagnant les dialogues avait un effet négatif sur les performances de compréhension, comparative-ment à un groupe contrôle sans image. En effet, quand on demande aux apprenants de quoi parle les deux jeunes filles qui discutent (présentées sur l'image de la figure 10), ils évoquent des thèmes comme : « elle aime lire » ou « elle s'est achetée une télé » ou encore « je suis fatiguée, j'ai besoin d'un café » alors que le sens littéral des répliques est : « Jane : au fait tu n'as pas vu ce reportage sur BBC 2 hier soir ? Sur l'Australie » ; Sharon : « Non, j'ai beaucoup trop de devoirs à la maison en milieu de semaine. C'est dommage, cela m'aurait beaucoup plu ! ».

Figure 10. – **Matériel utilisé par S. Merlet dans son étude de 1998.**

Les répliques des personnages sont les suivantes :

Jane : « *By the way, you didn't watch the programme in BBC2 last night, did you ? On Australia* » – Sharon : « *No, I have far too much homework, mid-week to watch anything. What a shame, I'd have loved that !* ».

Reproduit avec l'autorisation de l'auteur

Ainsi, lorsque les connaissances linguistiques préalables des étudiants sont insuffisantes pour interpréter littéralement le dialogue oral, les sujets se basent sur des indices issus de l'image qui, lorsqu'ils sont incohérents par rapport au dialogue, conduisent à des erreurs. D'une manière plus générale, R. E. Mayer (2001) et ses collaborateurs ont montré que l'apprentissage et la compréhension sont perturbés quand des informations verbales ou imagées intéressantes mais non pertinentes par rapport au thème sont incluses dans la présentation multimédia ou quand des sons ou de la musique peu utile est ajoutée à la présentation. Elles sont toutefois améliorées quand des informations verbales inutiles sont éliminées de la leçon présentée.

Le principe de modalité

Considérons l'analogie suivante. Imaginons-nous au cinéma, en train de regarder un film passionnant, mais en version originale. Si nous ne déposons pas de compétence experte en lecture, lorsque nos yeux essaient de comprendre le texte en sous-titrage, au bas de l'écran, les images défilent et nous avons l'impression de ne pas voir tout le film. Inversement, lorsque l'attention se porte sur l'image c'est l'impression d'incompréhension qui se manifeste. Dans une expérience maintenant célèbre portant sur la compréhension d'une leçon multimédia traitant de la formation des éclairs, R. E. Mayer et R. Moreno (1998) ont comparé une version comportant une animation accompagnée d'un texte écrit (défilant phrase par phrase) en bas de l'image à une version comportant la même version animée et le même texte mais présenté à l'oral, c'est-à-dire entendu. Le temps alloué au sujet était limité. Les résultats ont montré que les performances

de compréhension (épreuves de rappel et de transfert nécessitant des inférences) étaient meilleures dans la condition texte entendu que texte lu. Ce résultat est attribué aux contraintes de partage d'attention visuelle entre le texte écrit et l'image qui augmentent la charge cognitive lorsque le texte est lu. Le partage d'attention n'est plus contraignant quand le texte est entendu. Cet effet a été reproduit à de nombreuses reprises, dans différents contextes et contenus (cf. Mayer, 2005). Néanmoins les travaux récents ont suggéré l'idée que l'effet de modalité semblait très lié aux contraintes temporelles de l'apprentissage. Ainsi lorsque l'apprenant dispose d'un temps libre, confronté à une tâche de recherche d'information ou de compréhension alors l'effet de modalité semble diminuer voir disparaître (Tabbers, 2006).

Le principe d'intégration spatiale

Un autre effet de partage d'attention peut être dû au fait que les informations écrites sont séparées spatialement, rendant ainsi plus coûteuse la mise en relation des informations verbales et illustrées. Plusieurs recherches ont montré que lorsque les informations sont proches des éléments pertinents de l'illustration, c'est-à-dire intégrées en bonne place à côté de l'illustration, alors les performances de compréhension, rétention et transfert, sont supérieures à celles obtenues dans des conditions où le texte est séparé de l'illustration. Ces travaux ont porté sur des documents scientifiques comme la formation des éclairs (Mayer & Moreno, 1998), le système de frein d'une voiture (Mayer, 2001). L'accès aux informations ainsi intégrées à l'illustration peut aussi être interactif. C'est le cas lorsque l'information verbale apparaît sous forme de *pop-up*, c'est-à-dire de fenêtres ponctuelles ou « escamots » qui apparaissent à la demande du sujet. M. Bétrancourt et A. Bisseret, (1998) ainsi que M. Bétrancourt & S. Caro (1998) ont montré un effet positif de l'intégration des informations en escamots sur le traitement de documents techniques. Dans une étude récente portant sur le fonctionnement de l'œil et de l'oreille chez l'être humain, E. Jamet & S. Ehrel (2006) comparent une version avec un format *pop up* intégré, reliant les informations textuelles à l'illustration à l'aide de fenêtres escamotables à une version *pop up* en marge, présentant les informations textuelles à l'aide d'escamots disposés dans la marge droite de l'illustration (figure 11). Cette comparaison permet de tester l'hypothèse selon laquelle l'effet de l'intégration est dû à la facilitation de la mise en référence du texte et des éléments illustrés correspondants au cours de la consultation du document. Les résultats ont montré une amélioration de la compréhension pour une épreuve impliquant des processus de co-référenciation texte-illustration et pour le temps de consultation du document.

Le même principe de distance peut être appliqué à la contiguïté temporelle. La compréhension des documents illustrés est favorisée quand les images et les textes correspondants sont présentés en même temps plutôt que successivement (Mayer, 2001).

QUELQUES REPÈRES POUR L'USAGE PÉDAGOGIQUE DES ANIMATIONS INTERACTIVES

Nous concluons en fournissant quelques recommandations pour la conception, l'utilisation ou l'exploitation des animations interactives dans l'aide aux apprentissages et à la compréhension. Tout d'abord l'animation doit être réservée

Figure 11. – **Exemple extrait de E. Jamet & S. Ehrel, 2006 (p. 81),
en haut version intégrée, en bas version séparée.
Reproduit avec l'aimable autorisation des auteurs**

à la présentation de processus dynamiques dans lesquelles se déroulent des transformations temporelles et spatiales. Le mouvement ou le dynamisme doivent représenter les concepts concernés qui sont l'objet central de l'apprentissage. Les animations trop réalistes ne sont pas les plus à même de soutenir les apprentissages et l'aide à la compréhension. Il faut leur préférer des schématisations plus simples, ne comportant que les informations essentielles et utiles à l'abstraction

de concepts utiles. Ralentir le processus, séquentialiser en étapes discrètes, exagérer les mouvements et les aspects cruciaux au détriment du réalisme peut permettre une meilleure intégration.

Les ajouts d'interactivité, de contrôle sur le déroulement des animations, de manipulation à l'écran devraient être parcimonieusement exploités en fonction de la tâche (réalisation d'une procédure d'action ou acquisition de concepts abstraits), des connaissances préalables des élèves, de leurs différences inter-individuelles. Lors de séquences pédagogiques avec de jeunes élèves (niveau élémentaire), il faut veiller à ce que la manipulation de l'animation soit suffisamment simple pour ne pas « noyer » l'élève dans l'exercice d'un contrôle complexe qu'il ne saura pas exploiter à bon escient.

L'introduction d'informations visant à structurer la prise d'information et à orienter l'attention de l'élève peut s'avérer très favorable à condition que ces ajouts ne représentent pas une charge cognitive supplémentaire, se manifestant souvent par une désorientation de l'élève. Les signaux, non ambigus, qui visent l'orientation des ressources attentionnelles des apprenants vers les traits pertinents de l'animation doivent permettre l'organisation des relations entre les éléments du processus décrits et favoriser ainsi l'intégration de ces relations dans un système de relations causales cohérentes et fonctionnelles (Mautone & Mayer, 2007).

Enfin, la visualisation d'animations peut être accompagnée de textes explicatifs, plutôt présentés auditivement (Mayer, 2001). Le contenu du texte doit être choisi de telle sorte qu'il soit cohérent et synchrone avec le déroulement des animations. La structuration de l'apprentissage avec les animations gagnera sans doute à être accompagnée par le professeur, le formateur ou l'instructeur. L'exploitation didactique des animations et des simulations multimédias nécessite, en effet, impérativement leur médiation.

Jean-Michel Boucheix

jean-michel.boucheix@u-bourgogne.fr

Université de Bourgogne

Laboratoire d'études sur l'apprentissage et le développement (LEAD)

CNRS-université de Bourgogne

Jean-François Rouet

jean-francois.rouet@univ-poitiers.fr

Centre national de la recherche scientifique

Laboratoire « Langage mémoire et développement cognitif » (LMDC)

CNRS-université de Poitiers

NOTE

(1) Pour une présentation de ce concept cf. Gaonac'h & Passerault, 1995.

BIBLIOGRAPHIE

BÉTRANCOURT M. & TVERSKY B. (2000). « Effect of computer animation on user's performance : a review ». *Le travail humain*, vol. 63, n° 4, p. 311-329.

BÉTRANCOURT M. (2005). « The Animation and Interaction Principle in Multimedia learning ». In R. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge : Cambridge University Press, p. 287-296.

BÉTRANCOURT M. & BISSERET A. (1998). « Integrating textual and pictorial information via pop-up windows : an experimental study ». *Behavior and Information Technologies*, vol. 17, n° 5, p. 263-273.

BÉTRANCOURT M. & CARO S. (1998). « Intégrer des informations dans des textes techniques : quels effets sur les processus cognitifs ? » In A. Tricot & J.-F. Rouet, *Concevoir*

- et utiliser les hypermédias : *Approches cognitives et ergonomiques*. Paris : Hermès, p. 157-173.
- BÉTRANCOURT M. ; DILLENBOURG P. & CLAVIEN L. (2007). « Reducing cognitive load in learning from animation : Impact of delivery features ». In J.-F. Rouet, R. K. Lowe & W. Schnotz (éd.), *Multimedia comprehension*. Heidelberg : Springer.
- BOUCHEIX J.-M. (2006). « Simuler pour aider à comprendre. Relier des modèles mentaux selon une hiérarchie d'abstraction ». In P. Pastré (éd.), *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octarès, p. 131-155.
- BOUCHEIX J.-M. (2007a). « Young learners' control of technical animations ». In R. K. Lowe & W. Schnotz, *Learning with Animations*. Cambridge : Cambridge University Press (forthcoming).
- BOUCHEIX J.-M. (2007b). « On-line methods to study dynamic representations processing : Eye tracking and comprehension ». *Proceedings of the 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction (EARLI)* ; Budapest : August 28-September 1, 2007.
- BOUCHEIX J.-M. (à paraître). « Contrôle d'animations multimédias par des enfants de 10 à 11 ans : quels effets des dispositifs de contrôle ? » *Psychologie française*.
- BOUCHEIX J.-M. & GUIGNARD H. (2005). « What animated illustration conditions can improve technical document comprehension in young children. Format, Signaling and control ». *European Journal of Psychology of Education*, vol. XX, n° 4, p. 369-388.
- BOUCHEIX J.-M. ; LOWE R. K. & SOIRAT A. (2006). « One line processing of a complex technical animation : Eye tracking investigation during verbal description ». *EARLI-SIG Proceedings, Nottingham, August, 28th – 30th*.
- BOUCHEIX J.-M. & ROUET J.-F. (2005). *Rôle des animations graphiques dans le cadre des technologies pour l'apprentissage*. Rapport de synthèse « Cognitique » du CNRS (peut être demandé au premier auteur).
- BOUCHEIX J.-M. & SCHNEIDER E. (forthcoming). « Designing "apprehensible" animation features to enhance mental animation in multimedia comprehension : micro-steps format and user control ». *Learning and Instruction*.
- DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Bern : P. Lang.
- FAYOL M. (1992). « Comprendre ce qu'on lit : de l'automatisme au contrôle ». In M. Fayol, J.-É. Gombert, P. Lecoq, L. Sprenger-Charolles & D. Zagar (éd.), *Psychologie cognitive de la lecture*. Paris : PUF, p. 73-105.
- FAYOL M. (2002). « Les documents techniques : bilan et perspectives ». *Psychologie française*, vol. 47, n° 1, p. 9-18.
- GAONAC'H D. & FAYOL M. (2004). *Aider les élèves à comprendre. Du texte au multimédia*. Paris : Hachette.
- GAONAC'H D. & LARIGAUDERIE P. (2000). *Mémoire et fonctionnement cognitif. La mémoire de travail*. Paris : A. Colin.
- GAONAC'H D. & PASSERAULT J.-M. (1995). « Psychologie cognitive ». In D. Gaonac'h & C. Golder (éd.), *Manuel de psychologie pour l'enseignement*. Paris : Hachette, p. 51-75.
- GENTAZ E. & DESSUS P. (2004). *Comprendre les apprentissages*. Paris : Dunod.
- GENTILI R. ; PAPAXANTHIS C. & POZZO T. (2006). « Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice ». *Neuroscience*, n° 137, p. 761-772.
- GRAFTON S. ; ARBIB M. ; FADIGA L. & RIZZOLATTI G. (1996). « Localisation of grasp representations in humans by positron emission topography : 2. Observation compared with imagination ». *Experimental Brain Research*, n° 112, p. 103-111.
- IACABONI M. ; WOODS R. ; BRASS M. ; BEKKERING H. ; MAZZIOTTA J. & RIZZOLATTI G. (1999). « Cortical mechanisms of human imitation ». *Science*, n° 286, p. 2526-2528.
- JAMET E. (2002). « L'apport de nouvelles technologies de l'information et de la communication dans la conception de documents techniques ». *Psychologie française*, vol. 47, n° 1, p. 33-40.
- JAMET E. (2006). « L'effet des présentations séquentielles dans la compréhension de documents multimédias ». In A. Piolat (éd.), *Lire, écrire, communiquer et apprendre avec Internet*. Marseille : Éd. Solal, p. 56-64.
- JAMET E. & EHREL S. (2006). « Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents illustrés ». *Psychologie française*, vol. 51, n° 1, p. 73-86.
- KRIZ S. & HEGARTY M. (forthcoming). « Mental models of mechanical systems : top-down and bottom-up influences on learning from animations ». *Journal of Human-Computer Interaction*.
- JOHNSON-LAIRD P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge : Cambridge University Press.
- LOWE R. K. (1999). « Extracting information from an animation during complex visual learning ». *European Journal of Psychology of Education*, vol. XIV, n° 2, p. 225-244.
- LOWE R. K. (2004). « Interrogation of a dynamic visualization during learning ». *Learning and Instruction*, vol. 14, n° 3, p. 257-274.
- LOWE R. K. & SCHNOTZ W. (2005). « Traitements cognitifs et fonctions pédagogiques des animations ». In J.-M. Boucheix & J.-F. Rouet, *Rôle des animations graphiques dans le cadre des technologies pour l'apprentissage*. Rapport de synthèse « cognitique » du CNRS (peut être demandé au premier auteur).
- MARCUS N. ; WONG A. ; AYRES P. ; PAAS F. & SWELLER, J. (2007). « Instructional animations that foster motor skills ». *Cognitive Load Theory Conference*, Sydney, Australia, March 24-26.
- MAUTONE P. D. & MAYER R. E. (2007). « Cognitive Aids for Guiding Graph comprehension ». *Journal of Educational Psychology*, vol. 99, n° 3, p. 640-652.
- MAYER R. E. *Multimedia learning*. Cambridge : Cambridge University Press, 2001.
- MAYER R. E. (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia learning*. New York : Cambridge University Press.
- MAYER R. E. & CHANDLER P. (2001). « When learning is just a click away : does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages ». *Journal of Educational Psychology*, vol. 93, n° 2, p. 390-397.
- MAYER R. E. ; HEGARTY M. ; MAYER S. & CAMPBELL, J. (2005). « When static media promote active learning : annotated illustrations versus narrated animations in multimedia

- learning ». *Journal of Experimental Psychology : Applied*, vol. 11, n° 4, p. 256-265.
- MAYER R. E. & MORENO R. (1998). « A split attention effect in multimedia learning : Evidence for dual processing systems in working memory ». *Journal of Educational Psychology*, vol. 90, n° 2, p. 312-320.
- MERLET S. (1998). « Niveaux de traitement et intégration des informations multimédias. L'exemple de la compréhension orale en langue étrangère ». In A. Tricot & J.-F. Rouet (dir.), *Les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*. Paris : Hermès, p. 141-155.
- MERLET S. & GAONAC'H D. (1995). « Mise en évidence d'une stratégie de compensation dans la compréhension d'une langue étrangère ». *Revue de phonétique appliquée*, n° 115-117, p. 273-292.
- PIOLAT A. [éd.] (2006). *Lire, écrire, communiquer et apprendre avec Internet*. Marseille : Éd. Solal.
- ROUET J.-F. (2005). *Cent fenêtres sur Internet*. Paris : SCEREN-CNDP.
- ROUET J.-F. ; GERMAIN B. & MAZEL I. [coord.] (2006). *Lecture et technologies numériques : enjeux et défis des technologies numériques pour l'enseignement et les pratiques de lecture* / ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ; Observatoire national de la lecture. Paris : SCEREN-CNDP.
- ROUET J.-F. ; MERLET S. ; ROS C. ; RICHARD E. & MICHAUX C. (2002). « Effects of animated illustrations on the comprehension of an expository text ». In J.-F. Rouet & M.-F. Crété, *Proceedings of The Multimedia Comprehension Meeting*. Poitiers : Laboratoire « Langage et cognition » (CNRS-université de Poitiers), p. 21-32.
- SALOMON G. (1979). *Interaction of Media, Cognition and learning : an exploration of how symbolic forms cultivate mental skills and affect knowledge acquisitions*. San Francisco : Jossey-Blass.
- SALOMON G. (1981). *Communication and Education : Social and Psychological Interactions*. Beverly Hills : Sage.
- SCHWAN S. & RIEMPP R. (2004). « The cognitive benefits of interactive videos : learning to tie nautical knots ». *Learning and Instruction*, vol. 14, n° 3, p. 293-305.
- SCHNEIDER E. & BOUCHEIX J.-M. (2004). « Bénéfices d'une animation dans la construction d'un modèle mental ». Communication à la *Dixième journée d'études JETCSIC* ; Genève, 2004. Document au format PDF, disponible sur Internet à l'adresse http://tecfa.unige.ch/tecfa/jetcsic2004/papers/schneider_jetcsic04.pdf (consulté le 19 octobre 2007).
- SCHNEIDER E. & BOUCHEIX J.-M. (2006a). « On-Line elaboration of a mental model during the understanding of an animation ». In D. Barker-Plummer, R. Cox & N. Swoboda (éd.), *Diagrammatic Representations and Inference*. New York : Springer, p. 40-54.
- SCHNEIDER E. & BOUCHEIX J.-M. (2007). « How to improve complex mechanical system's comprehension with animations ? ». *Proceedings of the 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction (EARLI)* ; Budapest : August 28-September 1, 2007.
- TABBERS H. (2006). « Where did the modality effect go ? » *EARLI-SIG Proceedings* ; Nottingham, August, 28th – 30th.
- TASSINI S. & BÉTRANCOURT M. (2003). « Le contrôle sur l'animation influence-t-elle le niveau d'efficacité cognitive de l'animation ». Communication à la *Neuvième journée JETCSIC* ; Dijon, 21 juin 2003. Document au format RTF disponible sur Internet à l'adresse <http://tecfa.unige.ch/~mireille/jetcsic03/tassini.rtf> (consulté le 19 octobre 2007).
- TVERSKY B. ; BAUER-MORRISON J. & BÉTRANCOURT M. (2002). « Animation : can it facilitate ? » *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 57, n° 4, p. 247-262.