

EFFETS DE L'IMAGERIE ET DU CONTEXTE DE TÂCHE SUR L'APPRENTISSAGE À PARTIR DE SÉQUENCES MULTIMÉDIAS

Jean-François ROUET*, **Hugues CHOPLIN****
et **Véronique DUBOIS*****

*Laboratoire Langage et Cognition - CNRS et Université de Poitiers
99, avenue du Recteur Pineau - 86022 Poitiers Cedex

**Département Innovation pédagogique, École Nationale Supérieure des
Télécommunications, 46, rue Barrault - 75013 Paris

***Laboratoire de Psychologie Expérimentale - CNRS et Université de Paris V
71, avenue Édouard Vaillant - 92774 Boulogne Billancourt Cedex
rouet@mshs.univ-poitiers.fr, choplin@enst.fr, dubois@psycho.univ-paris5.fr

Résumé : *Vingt six élèves d'écoles d'ingénieurs en télécommunications ont utilisé deux séquences multimédias pour acquérir des notions d'électronique, selon une perspective de mémorisation ou de résolution de problème. L'une des séquences était enrichie au plan des graphiques et de l'interactivité, alors que l'autre reposait davantage sur des explications textuelles. La version enrichie ralentit la lecture initiale mais n'entraîne pas de gains significatifs au post-test de connaissances. La consigne exerce en revanche une influence significative sur le type d'information acquise durant la période d'étude. Les étudiants préfèrent généralement la version enrichie, mais signalent différents problèmes liés au rythme et à l'intégration des différentes sources d'informations. Les implications de ces résultats pour la conception des médias éducatifs sont discutées.*

Mots-clés : *animations graphiques, compréhension, contrôle par l'utilisateur, électronique, évaluation, multimédia, processus cognitifs.*

Abstract : *Twenty six students from telecommunication engineering schools used two multimedia animations in order to learn about two topics for the purpose of either memorizing or problem solving. One of the animations was enhanced with graphics and interactivity, while the other emphasized textual explanations. The enhanced version increased initial study time, but did not result in significant gains on a learning post-test. Study directions had a strong impact on the type of information students acquired during the study phase. Students generally preferred the enhanced version, but pointed out several problems related to the display speed and integration of information sources. We discuss the implications of these results for the design of educational media.*

Keywords : *animated graphics, cognitive processes, comprehension, electronics, evaluation, multimedia, user control.*

INTRODUCTION

Les progrès des systèmes informatiques permettent de réaliser à des coûts raisonnables des produits d'accompagnement scolaire à base de représentations graphiques animées. Comme les rédacteurs de manuels scolaires, les concepteurs multimédias font un usage significatif des images fixes ou animées, sur la base de l'idée générale que l'image favorise la compréhension. Toutefois, l'impact réel des animations sur la compréhension est encore mal connu. Dans cet article nous présentons une étude expérimentale dont le but était d'évaluer les effets d'une stratégie pédagogique centrée sur l'usage d'animations graphiques sur l'apprentissage de notions d'électronique par des élèves ingénieurs.

Au plan théorique, le recours à des représentations mixtes de type texte+image pour communiquer des connaissances est justifié par les modèles de la mémoire issus des recherches en psychologie cognitive (Gyselinck, 1996). Selon la théorie du double codage, le fait de disposer de deux représentations d'un même référent (l'une verbale, l'autre imagée) multiplierait les voies d'accès à la représentation en mémoire à long terme et favoriserait ainsi le rappel ultérieur de l'information traitée (Denis, 1989). Le modèle componentiel de la mémoire de travail de Baddeley et coll. (Baddeley, 1986) apporte un argument supplémentaire en proposant que le stockage temporaire des informations verbales et visuospatiales s'opère dans deux registres distincts. La présentation de textes et d'images permettrait donc une relative économie de traitement, par rapport à des modes de présentation sollicitant un seul des registres. Schnotz (2001) a récemment proposé un modèle qui repose sur cette conception et précise comment le traitement parallèle de textes et d'images peut conduire à des représentations mentales plus riches et stables à long terme.

Certaines recherches récentes sur l'intégration texte-image fournissent des arguments en faveur de l'emploi des animations pour l'explication des phénomènes dynamiques. On sait par exemple que la compréhension d'un phénomène dynamique (par exemple, le fonctionnement d'un système d'engrenages) à partir d'une image statique est liée à la capacité visuospatiale de l'élève (Hegarty & Steinhof, 1997). Certains individus sont plus lents et/ou moins précis lorsqu'ils doivent imaginer mentalement le mouvement d'un objet (Denis, 1989 ; Hegarty & Sims, 1994). La *représentation des mouvements ou des transformations* pertinents au moyen d'animations graphiques pourrait permettre de compenser ces déficits. De plus les animations présentent un caractère attrayant qui peut être exploité pour attirer et maintenir l'attention de l'élève sur les informations importantes.

Jusqu'à présent, peu d'études cognitives ont permis de valider ces hypothèses. Les quelques expériences publiées récemment suggèrent que la relation entre animation et compréhension est assez complexe. Par exemple, Wright, Milroy et Lickorish (1999) ont examiné l'effet d'animations graphiques sur la mémorisation de courts textes d'intérêt général (histoire et géographie de l'Angleterre). Au sein de chaque texte des illustrations de type « quoi ? » (montrer un objet ou une notion), « quand ? » (chronologie) et « où ? » (carte de géographie) sont proposées. Les illustrations sont soit des images fixes, soit des animations dérivées d'images fixes, mais qui n'apportent pas d'information supplémentaire. Par exemple, dans la version

animée de la chronologie, les événements s'affichent progressivement sur l'axe chronologique, alors que dans la version fixe ils s'affichent d'un seul coup. Les utilisateurs peuvent solliciter les illustrations en cliquant sur des liens hypertextes placés à côté de certains mots-clés. Le texte est alors remplacé, sur l'écran, par l'illustration, au bas de laquelle se trouve un bouton « retour ».

Dans l'expérience 1, Wright, Milroy et Lickorish comparent une condition *sans illustration*, une condition avec *illustrations fixes*, et une condition avec *illustrations animées*. L'hypothèse est que l'animation présente un caractère attractif qui devrait augmenter le taux de consultation. De fait, seuls 20% des participants négligent de consulter au moins une illustration dans la condition animée, contre 60% dans la condition fixe. En revanche, il n'y a pas de différence quant à la compréhension du texte, estimée par une série de questions factuelles.

Dans l'expérience 2, Wright, Milroy et Lickorish ajoutent une seconde variable de présentation : le moment où le graphique est proposé au lecteur. Dans la condition « *avant* » le graphique est proposé avant l'affichage du texte, alors que dans la condition « *pendant* » il est proposé en cours de lecture (comme dans l'expérience 1). De plus, les auteurs renforcent la consigne de consulter les graphiques. Le taux de non-consultation est alors très faible, sauf dans la condition « statique-pendant ». Cette fois la comparaison des conditions statique-pendant et animé-pendant montre une *baisse* significative de la compréhension en condition animé-pendant par rapport aux trois autres. Les auteurs en concluent que la présentation de graphiques animés pendant la lecture d'un texte attire effectivement l'attention des lecteurs (plus de consultations que pour des graphiques fixes), mais peut interférer avec la mémorisation des textes.

Toutefois, il faut noter que le mode de présentation utilisé dans cette étude (pages de textes et d'illustrations qui se substituent les unes aux autres) n'est pas optimal. On sait en effet que l'efficacité de documents multimédias dépend de certains paramètres de présentation, parmi lesquels la *contiguïté spatiale* (Moreno & Mayer, 1999 ; Sweller *et al.* 1990). L'intégration du texte et des images est plus facile si les deux sources d'informations sont proches et sur la même page. Le non-respect de ce principe pourrait suffire à expliquer l'interférence observée dans l'expérience de Wright, Milroy et Lickorish (1999) : la présentation sur des pages alternées ne permet pas au lecteur de mettre en place une stratégie de construction pas à pas du modèle mental (Hegarty & Just, 1993).

Mais d'autres résultats expérimentaux sont venus confirmer l'impression que les animations ne remplissent pas le rôle qu'on attend d'elles. Schnotz (2001) utilise une représentation animée du globe terrestre pour expliquer le principe du changement de date. Les sujets peuvent effectuer différentes manipulations sur cette représentation, comme assigner une heure particulière à une ville particulière, ou effectuer des rotations contrôlées. Par rapport à une image fixe, cette présentation augmente la mémorisation de détails (heure relative de différentes villes du globe), mais diminue la compréhension profonde, ce qu'atteste par exemple la moins bonne capacité des participants à répondre à des questions qui leur demandent de se représenter mentalement une rotation et ses effets sur les heures et dates en différents points du globe.

Schnotz (2001) propose deux interprétations non exclusives de ce phénomène : d'une part, le passage d'une image fixe à une animation fait perdre le bénéfice des points de repères sur lesquels une correspondance texte-image peut être établie. D'autre part, le fait de regarder une animation pourrait encourager l'élève à se dispenser de construire une représentation mentale du mouvement correspondant. L'élève passerait donc implicitement d'un statut de compreneur-acteur à un statut de témoin-spectateur, ce qui est incompatible avec la construction de connaissances. Des résultats convergents sont également présentés dans l'étude de Schnotz, Böckeler & Grzondziel (1999).

Lowe (2001) se donne également pour objectif d'améliorer la compréhension profonde à l'aide d'animations, cette fois dans le domaine des phénomènes météorologiques. Dans son expérience, des étudiants plus ou moins expérimentés dans le domaine utilisent une carte météorologique dynamique, montrant la progression des fronts météorologiques sur 24 heures. Leur tâche consiste à produire des prédictions exactes sur l'évolution des conditions dans les 24 heures suivantes. Contrairement aux attentes, l'utilisation de l'animation ne profite nullement aux sujets débutants. Les comptes-rendus qu'ils écrivent présentent séparément les caractéristiques de la situation (listes de détails) sans parvenir à les intégrer. Lowe note que l'animation rend certains traits graphiques particulièrement saillants, ce qui a pour effet d'attirer l'attention des élèves, mais nuit à leur vision d'ensemble des phénomènes.

On le voit, les effets objectifs des animations attestés dans des expériences scientifiques ne sont jusqu'à présent pas aussi positifs qu'on pourrait le souhaiter. Le soin apporté au choix et à la réalisation graphique des animations semble déterminant. Il se peut aussi que l'efficacité des animations soit liée à la stratégie pédagogique d'ensemble des concepteurs. Par exemple, l'utilisation des animations paraîtrait peu utile dans un système d'enseignement basé sur l'apprentissage de faits : le texte appris par cœur est alors plus efficace. En revanche, dans une pédagogie basée sur le développement des capacités de raisonnement, l'utilisation d'environnements riches en animations, dans le cadre de situations-problèmes ouvertes pourrait trouver une justification (à condition, encore une fois, que ces animations soient pertinentes et pas seulement décoratives ; Choplin, Galisson & Lemarchand, 1998).

Dans le cadre d'une coopération entre le Laboratoire Langage et Cognition et le Département d'Innovation Pédagogique de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications, nous avons entrepris une série d'études sur la conception de produits multimédia pour l'enseignement supérieur des télécommunications, produits destinés à s'inscrire au sein d'une collection pédagogique hypermédia inédite¹. Ces études consistent entre autres à tester expérimentalement l'impact de différents choix de conception (rassemblés au sein du cahier des charges de l'équipe de développement multimédia) et de mise en situation pédagogique du produit sur la compréhension des notions d'électronique par des étudiants de niveau post-bac.

¹ Voir le site consacré spécifiquement à cette collection : <http://www.en-questions.net/>

Une première étude avait pour but d'évaluer l'impact d'une stratégie de conception centrée sur les animations graphiques dans le cadre du premier titre de la collection, maintenant commercialisé : « *l'électronique en questions* »².

MÉTHODE

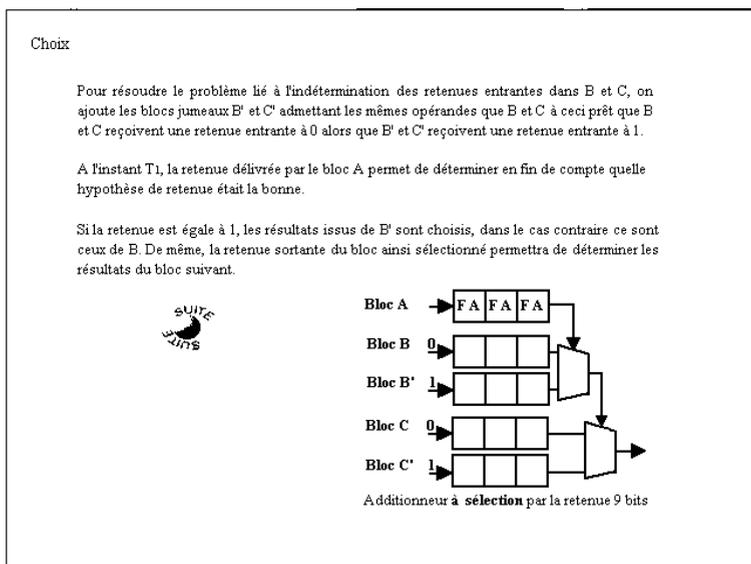
Participants

Vingt-six élèves volontaires issus de trois écoles d'ingénieurs ont participé à deux séances de travail par groupes de 2 à 9 élèves³. Le groupe comportait 22 garçons et 4 filles, âgés de 20 à 23 ans. La répartition par sexe est représentative de la population des élèves ingénieurs de ces filières.

Matériel

Séquences multimédias

Deux séquences multimédias, portant respectivement sur le domaine des additionneurs (électronique numérique) et des transistors (électronique analogique), ont été utilisées dans cette étude. Chaque séquence présente en 8 à 10 minutes des notions théoriques et pratiques devant aider l'élève à résoudre un problème d'ingénieur (ou d'électronicien), cette résolution exigeant toujours un compromis (par exemple, un compromis surface-performance dans le cas des additionneurs).



a - Extrait de la séquence « additionneurs » en Version –

² Pour une démonstration du produit, voir le site <http://www.cript.enst.fr>.

³ Nous remercions Dominique Degrugillier, Marité Milon et les élèves volontaires de l'ENST, de l'INT et de l'ENSTB pour leur contribution à cette expérience.

Choix

Pour résoudre le problème lié à l'indétermination des retenues entrantes dans B et C, on ajoute les blocs jumeaux B' et C' admettant les mêmes opérandes que B et C à ceci près que B et C reçoivent une retenue entrante à 0 alors que B' et C' reçoivent une retenue entrante à 1.

A l'instant T1, la retenue délivrée par le bloc A permet de déterminer en fin de compte quelle hypothèse de retenue était la bonne.

Si la retenue est égale à 1, les résultats issus de B' sont choisis, dans le cas contraire ce sont ceux de B. De même, la retenue sortante du bloc ainsi sélectionné permettra de déterminer les résultats du bloc suivant.

En supposant que le temps de propagation d'un multiplexeur est identique à celui de l'additionneur 1 bit, le temps de propagation de l'additionneur à :

- propagation des retenues est $T_p = 9 \varphi FA$
- sélection par la retenue est $T_p = 5 \varphi FA$

Mais la surface de l'additionneur à sélection par la retenue est presque deux fois plus importante que celle de l'additionneur à propagation de retenue.

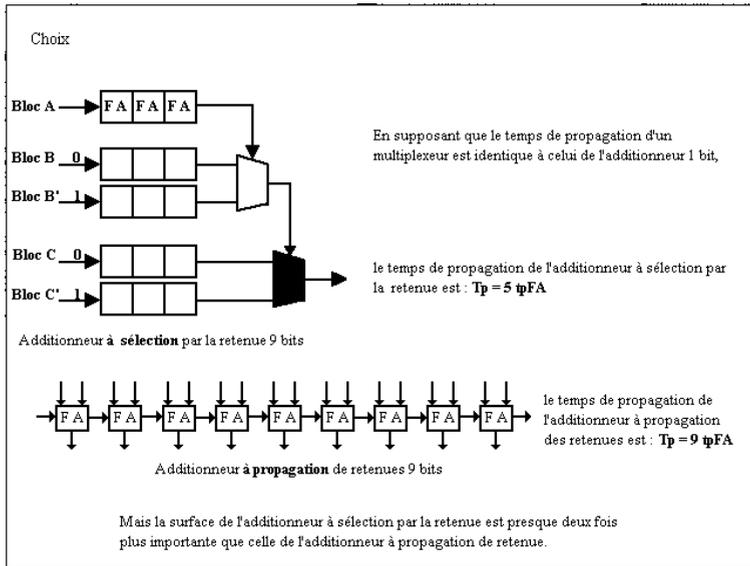
b - Extrait de la séquence « additionneurs » en Version -

Choix

Additionneur à sélection par la retenue 9 bits

On a donc ajouté les blocs jumeaux B' et C' admettant les mêmes opérandes que B et C à ceci près que B et C reçoivent une retenue entrante à 0 alors que B' et C' reçoivent une retenue entrante à 1.

c - Extrait de la séquence « additionneurs » en Version +



d - Extrait de la séquence « additionneurs » en Version +

Figure 1. Extraits de la séquence « additionneurs » en Version – (a et b) et Version + (c et d).

L'état initial et final de l'écran (texte et graphique) sont représentés pour chaque version.

N.B. : Les modalités d'apparition des médias (nombre d'étapes entre début et fin) varient d'une version à l'autre. Par ailleurs les schémas de la V+ sont animés. Enfin, le plan comporte des commentaires oraux, non reproduits ici, et qui varient légèrement d'une version à l'autre.

Chaque séquence se compose d'une série de cinq « plans » qui se succèdent linéairement. Au sein de chaque plan des informations orales, écrites et graphiques sont délivrées progressivement. Le rythme de défilement est tantôt contrôlé par le système (temporisation, affichages progressifs), tantôt par l'utilisateur (insertion de boutons de suite). Le premier plan est un plan d'introduction. Il est suivi de trois plans de contenu et d'un plan de conclusion.

Deux versions de chaque séquence ont été développées. Les deux versions comportent le même nombre de plans et les mêmes contenus. Seule la présentation diffère. La première version (V+) inclut des illustrations graphiques significatives, animées, et placées avant les explications verbales. La V+ privilégie aussi un contrôle par l'utilisateur du déroulement de la séquence multimédia. Dans la seconde version (V–) les images significatives sont supprimées ou remplacées par de simples illustrations, et l'interactivité est diminuée. La Figure 1 montre quelques extraits de l'un des cinq « plans » qui composent la séquence sur « les additionneurs ».

Tests de connaissances et d'aptitude visuospatiale

Deux types d'épreuves ont été mises au point dans le but de tester les connaissances des participants. La première épreuve est un questionnaire factuel en 10 points qui porte de manière plus ou moins directe sur des informations délivrées dans la séquence. Environ la moitié des questions sont de type QCM, l'autre moitié nécessitant des réponses courtes sous forme de formules ou d'explications verbales. La seconde épreuve est un énoncé de problème pour lequel certaines informations

présentées dans la séquence sont utiles. La résolution du problème nécessite de proposer un compromis entre plusieurs choix technologiques possibles.

Questionnaire factuel					
<ul style="list-style-type: none"> • En quoi l'additionneur à sélection par la retenue est-il différent de l'additionneur à propagation de retenue ? <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; padding-left: 20px;">O il parallélise les calculs</td> <td style="width: 50%; padding-left: 20px;">O il sauvegarde l'information</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">O il propage les retenues dans un sens inverse</td> <td style="padding-left: 20px;">O je ne sais pas</td> </tr> </table> • Comment s'appelle la fonction donnant la valeur de la retenue sortante (dans un additionneur 1 bit) ? (espace pour la réponse)..... 		O il parallélise les calculs	O il sauvegarde l'information	O il propage les retenues dans un sens inverse	O je ne sais pas
O il parallélise les calculs	O il sauvegarde l'information				
O il propage les retenues dans un sens inverse	O je ne sais pas				
Énoncé de problème					
<p>« Vous êtes ingénieur. Votre société vous a chargé d'une étude-prospective concernant un processeur de traitement du signal et en particulier de l'un de ces éléments : un module chargé d'additionner 4 nombres codés sur B bits. Vous devez fournir à vos collègues un rapport sur cette étude, rapport qui servira de base à la future conception-réalisation de ce processeur.</p> <p>Présentez en une vingtaine de lignes les points principaux (3 à 5 points) que vous étudiez en priorité pour réaliser ce rapport. » (N.B. Dans la version « post-test » on ajoute : « en utilisant au mieux les informations de la séquence multimédia que vous venez d'étudier »)</p>					

Tableau 1. *Questionnaire factuel (extraits) et énoncé de problème utilisés dans le domaine des additionneurs (électronique numérique).*

Par ailleurs le test Minnesota Paper Form Board (MPFB) a été retenu pour évaluer l'aptitude visuospatiale des participants.

Procédure

L'expérience se déroulait en deux séances. La première était collective et durait environ 45 minutes, la seconde était semi-collective et durait environ 1h30. Elle intervenait une à trois semaines après la première.

Lors de la première séance, les élèves passaient les questionnaires destinés à évaluer leurs connaissances et leur capacité visuospatiale. Lors de la deuxième séance (de une à trois semaines après) les élèves étudiaient successivement les deux séquences multimédias, l'une en V+, l'autre en V-. Les séquences étaient présentées sur l'écran d'un ordinateur de type PC. Le croisement des domaines et des versions ainsi que l'ordre de passation des deux domaines étaient contrebalancés. Par ailleurs, la moitié des élèves recevait une consigne de *mémorisation* alors que l'autre recevait une consigne de *résolution d'un problème* dont l'énoncé leur était fourni. Les deux groupes étaient équilibrés quant au sexe, à l'école d'origine et aux différents pré-tests.

La période d'étude se divisait en deux parties : d'abord, l'élève devait visionner l'ensemble de la séquence en minimisant les retours en arrière ; puis il pouvait réviser certaines parties de la séquence dans la limite d'un temps total d'étude de 20 minutes.

Après l'étude de chaque séquence, les élèves des deux groupes répondaient de nouveau au questionnaire de connaissances factuelles et à l'énoncé de problème. De plus, on leur demandait de donner une appréciation sur chaque séquence et de

comparer les deux séquences (du point de vue de leur interface et de leur qualité pédagogique).

RÉSULTATS

Nous présentons ci-dessous les résultats concernant (a) l'évolution des réponses du pré- au post-test ; (b) l'analyse des interactions entre l'élève et le dispositif de présentation et (c) les appréciations subjectives concernant les deux versions. Des analyses préliminaires ont montré que les profils des résultats étaient similaires pour les deux domaines de connaissances étudiés. Nous présenterons donc les résultats tous domaines confondus, selon un plan d'expérience mixte avec un facteur inter-sujet (consigne de mémorisation ou de résolution de problème) et un facteur intra-sujet (le type de séquence étudiée : V+ ou V-).

Évolution des connaissances du pré- au post-test

Le questionnaire factuel et les réponses au problème ont été notés sur une échelle en 10 points. Une procédure de double codage en aveugle a permis de vérifier la fiabilité de la grille de codage employée. En ce qui concerne le questionnaire factuel, on observe une très forte augmentation des scores du pré- au post-test, ceci dans toutes les conditions ($F(1,20)=378,65$, $p=0$). Les facteurs « tâche » et « version » n'ont pas d'effet significatif. Cependant il existe une interaction entre la tâche et la phase de test ($F(1,20)= 4,49$, $p<.05$). L'augmentation (pente) est légèrement plus forte pour les élèves du groupe mémorisation (M) que pour ceux du groupe problème (P). Une comparaison partielle indique que lors du post-test les participants du groupe M ont des résultats plus élevés que ceux du groupe P ($F(1,20)= 4,40$, $p<.05$).

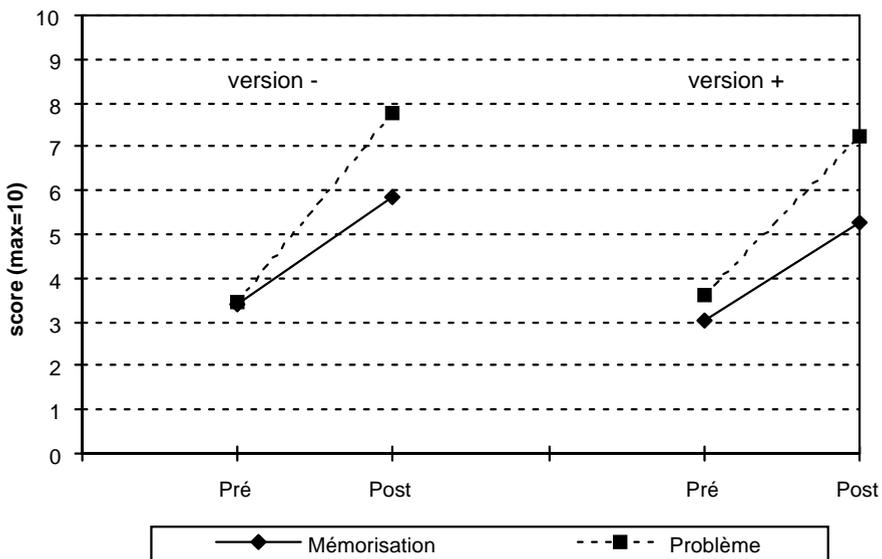


Figure 2. Scores de résolution de problème au pré- et post-test selon la consigne (mémorisation, résolution) et la version étudiée (V-, V+).

Les scores en résolution de problème sont présentés dans la Figure 2. L'augmentation des scores du pré-test au post-test est là aussi très importante ($F(1,24)=112,62, p=0$). Les élèves ont pu trouver dans les séquences matière à fournir des réponses de bien meilleure qualité que celles qu'ils pouvaient donner quelques semaines auparavant, lors du pré-test. De nouveau, on observe une interaction phase x tâche ($F(1,24)=7,21, p<.05$) : la différence entre les groupes M et P n'est pas significative au pré-test, mais le devient au post-test ($F(1,24)=10,62, p<.01$). Cette fois, ce sont les élèves ayant reçu une consigne de résolution de problème (groupe P) qui obtiennent de meilleurs scores.

La version de la séquence (V+ ou V-) reste sans effet significatif sur les performances en compréhension, qu'il s'agisse de mémorisation factuelle ou de résolution de problème.

Les temps de lecture ont été enregistrés pour chaque « plan » et à chaque phase d'étude (lecture initiale ou relecture). Sur les 20 minutes allouées au total, les élèves ont passé en moyenne environ 14 minutes à la lecture initiale, et 6 minutes à la relecture. Une analyse de la variance montre que la lecture initiale de la V+ a pris plus de temps que celle de la V- ($F(1,24)=12,70, p<.01$). Par ailleurs, les élèves du groupe « mémorisation » ont passé plus de temps à l'étude initiale que ceux du groupe « problème », mais la différence n'est que marginalement significative ($F(1,24)=3,62, p<.10$). Il n'y a pas d'interaction entre les deux facteurs.

Nous avons effectué une analyse plus détaillée des parcours réalisés par les élèves durant les phases de lecture initiale et de relecture. Ces parcours sont complexes et sujets à d'importantes variations inter-individuelles, c'est pourquoi il est difficile d'en dégager des conclusions statistiques fiables. Cependant, la figure 3 révèle plusieurs phénomènes intéressants.

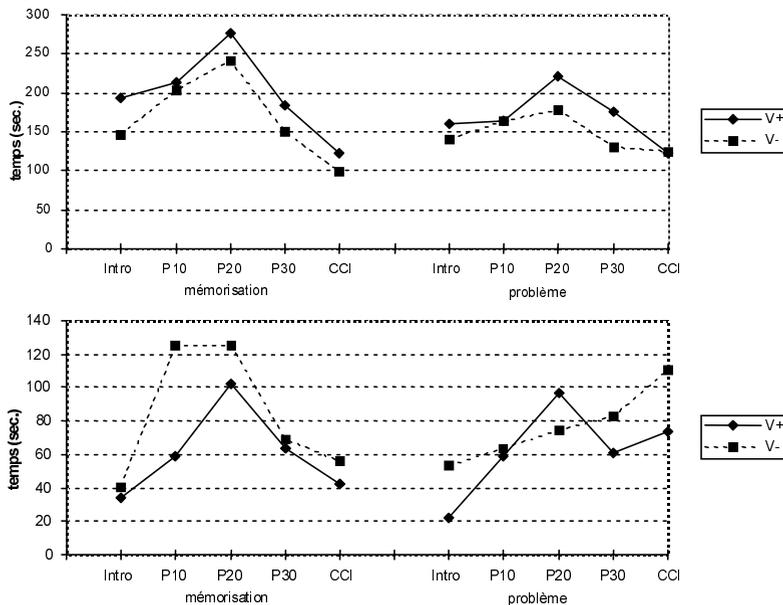


Figure 3a et b. Répartition des temps de lecture (3a, haut) et de relecture (3b, bas) sur les différents plans des séquences.

Concernant le temps de lecture initiale (figure 3a), on note que c'est l'étude des éléments de contenu, et surtout du plan P20, qui prend le plus de temps. Ceci reflète grosso modo la quantité d'information à traiter. On retrouve sur ce graphique l'allongement du temps de lecture de la V+, dont on voit qu'il se distribue sur tous les constituants. Le profil des temps de lecture est similaire dans les groupes « mémorisation » et « problème ».

Lors de la relecture (figure 3b), le profil des temps est très différent dans les groupes « mémorisation » et « problème ». Le groupe « mémorisation » révise surtout les plans P10 et P20, alors que le groupe « problème » révise plutôt la fin de la séquence, notamment la conclusion. Dans le groupe « problème », il faut aussi noter la différence entre les profils de la V+ et de la V-. En V-, le temps de relecture croît presque linéairement avec l'ordre chronologique des plans. En V+, les étudiants consacrent plus de temps à P20, et relativement moins à l'introduction et à la conclusion.

En résumé, les deux facteurs ont eu une influence sur le comportement des élèves durant la période d'étude. La version V+ a entraîné un allongement des temps de lecture initiale au détriment des temps de relecture. La consigne de mémorisation a entraîné une focalisation des élèves sur les éléments de contenu (P10-P30), alors que la consigne de résolution de problème a incité les élèves à examiner en détail la fin de la séquence (là où, précisément, sont discutés les avantages et les limites des différents choix de conception).

Appréciations des élèves

Après l'étude de chaque séquence les élèves devaient en apprécier la qualité d'ensemble sur un échelle de 1 (qualité très faible) à 7 (qualité excellente). L'appréciation d'ensemble est assez positive. Dans 35% des cas les élèves jugent la séquence « bonne » ou « excellente ». Ils la jugent « plutôt bonne » ou « satisfaisante » à 54%, et « plutôt faible » à 11%. Par ailleurs, 46% des élèves ont préféré la séquence qui leur a été présentée en V+ ; 23% ont préféré la V-, et 31% les ont trouvées équivalentes. La préférence envers la V+ tient en partie à un meilleur contrôle par l'élève du défilement des médias. En effet lorsqu'on leur demande d'évaluer le *rythme* des séquences, 46% des élèves le jugent satisfaisant pour la V+, contre seulement 15% pour la V- ($\chi^2(1)=5,78, p<.02$). 46% trouvent le rythme de la V- trop rapide (35% en V+), contre 35% qui le trouvent trop lent (15% en V+). Un élève juge le rythme « tantôt trop rapide, tantôt trop lent » dans chaque version.

Les commentaires relatifs au rythme et à l'intégration des médias reviennent souvent dans les remarques et suggestions formulées par les élèves, quelle que soit la version traitée. Ainsi, 11 élèves (42%) ont noté une difficulté dans la synchronisation des animations et des autres médias (ce problème apparaît 8 fois dans les réponses concernant la V-, et 7 fois en V+). Le rythme et la synchronisation des textes et des sons est aussi un problème pour 8 élèves en V- et 10 en V+, alors que 7 élèves (6 en V-, 1 en V+) notent que les commentaires « surprennent », « se déclenchent trop tôt ou trop tard », ou « sont trop rapides ». Plusieurs élèves suggèrent de laisser l'utilisateur contrôler le déclenchement des commentaires, et

d'afficher les textes en une seule fois avec des boutons de pause entre différents paragraphes.

Enfin, il faut noter que les schémas fixes ou animés bénéficient de commentaires positifs aussi bien en V+ (5 élèves) qu'en V-, pour laquelle 9 élèves suggèrent d'en ajouter.

DISCUSSION

Cette expérience avait pour but d'évaluer les effets de la richesse informative et d'une consigne de résolution de problème sur l'apprentissage de notions d'électronique à l'aide d'un dispositif multimédia.

Les divers enrichissements apportés à la version V+ (position des schémas, animations, contrôle accru du défilement) n'ont eu aucun effet significatif sur l'apprentissage. Ce résultat vient corroborer une série d'études récentes (Wright *et al.*, 1999 ; Schnotz, in press ; Lowe, in press) montrant des effets faibles voire nuls des animations graphiques sur la compréhension. Il faut prendre garde à ne pas en tirer de conclusions hâtives : il ne s'agit que d'une absence d'effet, ce qui en soi ne prouve rien. Toutefois, on peut risquer quelques conjectures quant aux origines de cette absence d'effet. D'abord, il est possible que des effets existent, mais qu'ils soient extrêmement faibles par rapport à d'autres variables. Ensuite, il se peut que les effets des animations ne soient pas bien pris en compte par nos post-tests. Seuls quelques items concernaient le fonctionnement de dispositifs électroniques représentés dans des animations. Ceci nous ramène à la nécessité d'articuler très soigneusement les objectifs d'apprentissage et les moyens multimédias (ou non) mis en œuvre pour les atteindre. Enfin, les élèves observés dans cette étude possèdent tous des capacités d'apprentissage élevées, ce qui les rend peut-être moins sensibles à un enrichissement des supports d'apprentissage que des publics de niveau moins avancé.

La version V+ a eu un impact important sur les stratégies d'étude. Elle est plus longue à lire, et n'a pas permis un ajustement aussi fin de la relecture aux objectifs. Toutefois, elle fait l'objet d'une préférence nette de la part des élèves. Wright *et al.* (1999) ont également observé une préférence subjective pour les écrans avec animations, sans que cette préférence se traduise au plan de la compréhension.

La consigne d'étude a eu un effet significatif sur la performance des élèves. Le groupe mémorisation a davantage amélioré son score aux questions factuelles que le groupe problème, alors que ce dernier a obtenu de meilleurs résultats lors de la résolution de problème. Cet effet peut paraître relativement trivial, mais il témoigne des bonnes capacités d'autorégulation dont disposent les élèves ingénieurs. On constate en effet que des élèves de niveau moins avancé ont parfois des difficultés à prendre en compte un objectif d'étude précis dans l'élaboration d'une stratégie (Wagner & Sternberg, 1987 ; Rouet, Coirier & Favart, *subm.*).

L'absence d'interaction entre version et consigne d'étude suggère qu'il n'y a pas congruence entre les informations mises en avant dans la V+ et le type d'information requise pour résoudre le problème. De surcroît, le temps d'étude limité a pu masquer les effets de la version : les utilisateurs de la V+ passant plus de

temps sur la lecture initiale, il leur en restait moins pour réviser. De plus la répartition des temps d'étude montre que par rapport à la V-, les sujets semblent attirés vers les sections de la séquence où se trouvent les animations les plus complexes. Ce résultat suggère lui aussi un décalage entre les objectifs d'étude et le type d'information proposée dans la V+.

On peut se demander si le « faible » impact global des images (et des animations) ne tient pas aussi à ce que les images sont globalement moins valorisées que le texte dans le contexte des écoles d'ingénieurs (Jacobi, 1999). Il est possible que cette forme « culturelle » de hiérarchisation des médias ait conduit les élèves à mettre au second plan, dans une certaine mesure, les images (et animations) des séquences multimédias. Bien que les résultats ne permettent pas de trancher, le temps important passé sur les animations, les commentaires favorables des élèves à l'égard des graphiques et l'absence de commentaire négatif sur l'utilité des animations nous conduit à considérer cette hypothèse avec circonspection.

Au total, cette expérience nous montre que si les médias interactifs ont un potentiel certain pour l'apprentissage de notions scientifiques, ce potentiel ne peut fructifier qu'au prix d'une réflexion approfondie sur la correspondance entre le format de représentation de l'information et les processus cognitifs qui gouvernent la perception, le traitement et l'intégration des informations en mémoire. La maîtrise technologique des nouveaux médias est une condition nécessaire, mais non suffisante de la production de médias éducatifs de qualité. La maîtrise cognitive et pédagogique de ces nouveaux médias demande quant à elle un patient travail de modélisation et surtout d'observation du comportement réel des utilisateurs, seul à même de nous aider à faire les meilleurs choix de conception dans l'éventail toujours croissant des possibilités techniques.

BIBLIOGRAPHIE

- Baddeley A. (1986). *Working Memory*, New-York : Oxford University Press.
- Choplin H., Galisson A. & Lemarchand S. (1998). « Hypermédias et pédagogie : Comment promouvoir l'activité de l'élève ? », in J.-F. Rouet & B. de La Passardière (éds), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Actes du Quatrième Colloque Hypermédias et Apprentissages, Poitiers, Paris : INRP/EPI, p. 87-98.
- Denis M. (1989). *Image et cognition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gyselink V. (1996). « Illustrations et modèles mentaux dans la compréhension de textes », *L'Année Psychologique*, n° 96, p. 495-516.
- Hegarty M. & Just, M. A. (1993) « Constructing mental models of machines from text and diagrams », *Journal of Memory and Language*, vol. 32, p. 717-742
- Hegarty M. & Sims V. K. (1994). « Individual differences in mental animation during mechanical reasoning », *Memory and Cognition*, vol. 22, p. 411-430.
- Hegarty M. & Steinhoff K. (1997). « Individual differences in use of diagrams as external memory in mechanical reasoning », *Learning and Individual Differences*, vol. 9, p. 19-42.

- Jacobi D. (1999). *La communication scientifique. Discours, figures, modèles*, Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Lowe R. K. (2001). « Understanding information presented by complex animated diagrams », in J.-F. Rouet, J.-J. Levenon & A. Biardeau (éds), *Multimedia Learning: cognitive and instructional issues*, London : Elsevier Science, p. 65-74.
- Lowe R. K. (in press). « Domain-specific constraints on conceptual change in knowledge acquisition from diagrams », in W. Schnotz, S. Vosniadou & P. Carretero (éds), *New perspectives on conceptual change*, Erlbaum.
- Moreno R. & Mayer R. E. (1999). « Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and continuity », *Journal of Educational Psychology*, vol. 91, n° 2, p. 358-368.
- Rouet J.-F., Coirier P. & Favart M. (submitted). *Learning from historical documents: Effects of task setting, document linking and study strategies*.
- Schnotz W. (2001). « Sign systems, technologies, and the acquisition of knowledge », in J.-F. Rouet, J. J. Levenon & A. Biardeau (éds). *Multimedia learning: cognitive and instructional issues*, London : Elsevier Science, p. 9-30.
- Schnotz W., Böckheler J. & Grzondziel H. (1999). « Individual and co-operative learning with interactive animated pictures », *European Journal of Psychology of Education*, vol. 14, p. 245-266.
- Sweller J., Chandler P., Tierney P. & Cooper M. (1990). « Cognitive load as a factor in the structuring of technical material », *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 119, p. 176-192.
- Wagner R. K. & Sternberg R. J. (1987). « Executive control in reading comprehension », in B. K. Britton & S. M. Glynn (éds), *Executive Control Processes in Reading*, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, p. 1-22.
- Wright P., Milroy, R. & Lickorish A. (1999). « Static and animated graphics in learning from interactive texts », *European Journal of Psychology of Education*, vol. 14, p. 203-224.