
Animations multimédia : quels dispositifs pour réduire la charge cognitive ?

Lionel Clavien

TECFA, Université de Genève,
Acacias 54
CH - 1227 Carouge
Lionel.Clavien@amedias.ch

Mireille Bétrancourt

TECFA, Université de Genève,
Acacias 54
CH - 1227 Carouge
Mireille.Betrancourt@tecfa.unige.ch

RESUME

Cet article s'inscrit dans le champ de recherche qui étudie l'efficacité des animations multimédia et des différents formats de présentations de l'information. Après une brève revue de la littérature sur l'utilisation pédagogique des animations multimédia et leurs effets sur l'apprentissage, les auteurs s'interrogent sur le principe même des animations, à savoir la supplantation d'une image par la suivante. Ils présentent les résultats d'une expérience mesurant les différences de performance et d'attitude chez des utilisateurs ayant visualisé le même contenu animé, mais avec des formats de présentation différents.

MOTS-CLES

Animations multimédia, mémorisation, compréhension, charge cognitive, modèle mental.

1 INTRODUCTION

Comment bien faire passer un message au moyen d'une interface ? Comment enseigner un concept avec un document multimédia ? Comment concevoir un matériel pédagogique efficace ? Faut-il utiliser plutôt des images ou plutôt du texte ? Faut-il utiliser du son, des animations, ou un mélange de tout ça ? Autant de questions que se pose, ou devrait se poser, tout concepteur de matériel didactique avant d'entreprendre quoique ce soit.

Les technologies de l'information et de la communication et le multimédia permettent aujourd'hui de communiquer un message, de transmettre une idée, d'enseigner un contenu de manière très sophistiquée. En effet, une information peut être véhiculée très facilement, par le biais d'une image, d'une animation, d'une vidéo, d'une bande sonore, d'un texte, ou encore par le biais de tous ces moyens réunis en même temps. Le monde de l'édition regorge de documents multimédia. L'augmentation des encyclopédies multimédia dans les rayons des librairies témoigne de cet intérêt sans cesse croissant pour les animations. Le multimédia est donc devenu la base des documents techniques et didactiques sur Internet ou sur CD-Rom.

Les concepteurs pensent que les utilisateurs retiennent mieux l'information avec des images qu'avec du texte, et plus particulièrement avec des images animées. Or les résultats de recherche montrent que ce n'est pas toujours le cas. Outre les problèmes de contenu, l'animation est confrontée à des problèmes d'utilisation. Avant d'aborder ces difficultés, quelques précisions sur les notions employées s'imposent : que désigne-t-on par animation ? comment et pourquoi sont-elles utilisées ?

1.1 Qu'appelle-t-on animation ?

La littérature scientifique en ergonomie des formats de présentation se base souvent sur la distinction entre images statiques et images animées et c'est pourquoi nous tenons ici à définir le concept d'animation afin d'embrasser les différentes significations qui lui ont été attribuées. En effet, pour Scaife & Rogers (1996), il y a un chevauchement entre ce qui constitue une illustration et une animation en ce sens que les animations (multimédia, film, vidéo) sont « *une série d'illustrations statiques changeant rapidement, donnant ainsi l'illusion d'un mouvement dans le temps et dans l'espace.* » (Scaife & Rogers 1996, notre traduction).

Pour Back & Layne (1988) l'animation est un « *processus consistant à générer une série d'image contenant un ou plusieurs objets, de sorte que chaque image apparaisse comme une altération de l'image précédente, donnant ainsi l'illusion du mouvement.* » (Baeck & Layne, 1988, notre traduction)

Enfin, Gonzales (1996) propose une définition plus large de l'animation. Selon cet auteur, l'animation est « *une série d'images diverses, présentées de manière dynamique en fonction de l'action de l'utilisateur de manière à l'aider à percevoir un changement animé dans le temps et à développer un modèle mental cohérent de la tâche.* » (Gonzales, 1996, notre traduction)

Cette définition contient en outre l'idée selon laquelle l'utilisateur peut interagir avec le dispositif, ne serait-ce qu'en appuyant sur une touche.

De ces deux définitions, il ressort que le terme « animation » concerne « *toute application qui génère une série d'images, de sorte que chaque image apparaisse comme une altération de la précédente et où la séquence des images est déterminées soit par le concepteur de l'animation soit par l'utilisateur* » (Bétrancourt & Tversky 2000).

Cette définition est plus large dans sa conception que les deux précédentes définitions. Elle ne précise toutefois pas ce que l'animation est supposée apporter de plus que des images statiques.

1.2 Comment et pourquoi sont-elles utilisées ?

Les animations sont utilisées par les concepteurs généralement pour des motifs très différents. On distingue trois raisons pour lesquelles les animations sont le plus souvent utilisées :

Pour attirer l'attention : purement décoratives (effets spéciaux de transition, symboles animés, etc.), elles peuvent aider l'utilisateur à apprécier un texte en le rendant plus attractif, mais peuvent aussi le distraire de la tâche (Levin & Mayer, 1993).

Pour représenter quelque chose : accompagnant ou non un texte, elles sont utilisées pour démontrer ou expliquer un concept, une règle ou une procédure (*learning by viewing approach*).

Pour exercer : utilisées dans le cadre d'une stratégie d'apprentissage par l'action (*learning by doing*) elles sont souvent basées sur l'interactivité à partir du moment où l'animation change dans le temps en fonction des actions de l'utilisateur.

La grande variété de forme que peuvent prendre les animations et les fonctions qu'elles offrent, signifient que l'efficacité des animations multimédia ne réside pas dans l'animation *per se* mais dans la relation entre les différents buts de l'animation, la mise en œuvre de celle-ci et la tâche de l'utilisateur. Des utilisations différentes des animations ont des implications différentes sur le plan cognitif. De plus, l'animation tire souvent profit d'une particularité indépendante de l'outil informatique, à savoir l'interactivité. En effet, l'interactivité en elle-même pourrait apporter des bénéfices sur le plan cognitif. Certaines études ont essayé de séparer les effets de l'interactivité et de l'animation (Gonzales, 1996; Rieber, 1990; Rieber, Boyce & Assad, 1990), mais les résultats semblent aller dans le sens de l'interactivité uniquement lorsque celle-ci permet à l'utilisateur de contrôler le flux de l'animation.

1.3 Les animations améliorent-elles la compréhension d'instructions multimédia ?

L'animation étant plus sophistiquée que du texte ou que des images statiques, les concepteurs pensent qu'elle permet de mieux faire passer un message ou de mieux enseigner. Pourtant, cette idée reçue n'est pas toujours vérifiée par l'expérience. Les récentes recherches ont montré que, bien souvent, l'animation n'est pas plus efficace qu'un graphique statique, même pour expliquer le fonctionnement de systèmes dynamiques (Bétrancourt, Bauer-Morrison & Tversky, 2001 ; Bétrancourt & Tversky, 2000)

Plusieurs recherches ont comparé les effets de présentation de graphiques statiques avec des présentations de graphiques animés, mais les résultats divergent.

1.3.1 Au niveau des performances

Par exemple, Baek et Layne (1988) ont trouvé que l'animation permettait d'augmenter les performances d'apprentissage de règles mathématiques par rapport à des graphiques statiques et à une instruction uniquement textuelle. Dans cette étude, l'animation consistait à afficher un curseur qui se déplaçait sur l'écran à des vitesses variables en fonction de l'input. Selon les auteurs, l'animation favoriserait l'apprentissage de lois basées sur des relations entre le temps, la distance et la vitesse, par rapport à des graphiques statiques ou du texte seulement.

D'autres études ont trouvé des résultats plus complexes. Palmiter et ses collègues (Palmiter et al., 1991 ; Palmiter & Elkerton, 1993) se sont penchés sur l'efficacité des animations pour faire la démonstration de procédures d'interfaces simples. Les résultats ont montré que les utilisateurs des conditions *animation* avaient de meilleures performances que les utilisateurs des conditions *texte* durant la phase d'entraînement, mais pas au post-test retardé.

Ces deux premières études vont plutôt en faveur de l'animation, mais plusieurs autres recherches ont trouvé qu'il n'y avait pas de différence significative entre chaque condition. Pane et ses collaborateurs (1996), par exemple, ont trouvé qu'il n'y avait aucune différence significative entre animation, graphique et texte, pour une information équivalente. Les auteurs ont comparé les effets sur l'apprentissage de trois conditions : (1) *animation* et (2) *graphique statique* et (3) *texte*. L'animation consistait en un film, conçu pour expliquer le phénomène de la migration des cellules dans l'embryon. Aucune différence de performance entre ces conditions n'a pu être mise en évidence.

Rieber (1989a) a utilisé du matériel animé avec des enfants et l'a intégré dans une leçon sur les lois du mouvement de Newton. Aucune différence significative n'a été trouvée par rapport à une version uniquement textuelle de la leçon, mais les apprenants ont jugé que le contenu animé était extrêmement sollicitant sur le plan cognitif et les auteurs notent qu'ils n'ont pas pris le temps suffisant et adéquat pour visualiser l'animation.

1.3.2 Au niveau des préférences

Si les présentations animées n'ont pas d'effet bénéfique sur les performances, on peut penser qu'elles contribuent du moins à augmenter le plaisir d'apprendre. Pourtant, cette croyance n'est pas non plus confirmée de manière empirique par les résultats.

Sur 12 études portant sur l'attitude des utilisateurs vis-à-vis de l'animation, seules 5 d'entre elles ont utilisé un indicateur fiable pour mesurer les préférences des utilisateurs. Palmiter et Elkerton (1994) ont ainsi pu montrer que les sujets de la condition *animation* avaient plus de plaisir à apprendre que les sujets de la condition *texte*, mais il peut s'agir d'un effet lié à la visualisation graphique et non à l'animation *per se*. Ainsi, comparant des conditions graphiques, Pane *et al.* (1996) et Rieber (1990) n'ont pas trouvé de différence de préférences entre les conditions. Un autre indicateur intéressant est la motivation continue, qui peut être définie en tant que « *volonté propre de l'individu à retourner à une activité une fois que la pression externe a cessé* » (Rieber & Kini 1991). Selon Rieber et ses collaborateurs (1991), la simulation animée par ordinateur était choisie en masse dans une situation de libre choix par rapport à d'autres activités assistées par ordinateur.

Également dans le contexte de la navigation sur Internet, les résultats sont rarement positifs pour l'animation. Selon l'étude de Spool *et al.* (1998) les animations sont perçues comme gênantes, elles rendraient l'accès au contenu plus difficile, fatigueraient l'œil et irriteraient la plupart des utilisateurs. En outre, les utilisateurs aiment garder le contrôle de la navigation. Or, les animations se déroulent le plus souvent au rythme prévu par le concepteur sans contrôle possible de l'utilisateur. Ces résultats doivent toutefois être pondérés par le fait que les animations sur le Web sont le plus souvent conçues dans un but esthétique et motivationnel, plutôt que dans un but d'assistance ou de soutien à l'utilisateur.

1.3.3 Tentative d'explication

La littérature scientifique sur l'efficacité pédagogique des animations n'a ainsi pas fait état de bénéfices nets pour l'utilisateur, ni sur le plan cognitif, ni sur le plan des attitudes.

Ce constat plutôt intrigant peut s'expliquer par les difficultés de traitement qu'imposent les animations aux utilisateurs. Ainsi, les animations sont souvent utilisées comme facteur de motivation et d'attraction sur des matériels par ailleurs peu attractifs. En réalité, les animations risquent de perturber ou détourner la concentration de ce dernier sur les aspects essentiels, en terme de compréhension, de la présentation multimédia. On parle alors d'attention partagée ou de dissociation de l'attention (Chandler & Sweller, 1991 ; Sweller, Chandler, Tierney et Cooper, 1990). L'effet de « *split-attention* » se produit quand les sujets doivent traiter des sources d'information multiples dont l'intégration doit être opérée mentalement afin que le sens puisse être inféré du matériel présenté (Tricot, 1998).

Une autre difficulté de traitement cognitif de l'information tient à la nature même de l'animation. Le fait qu'elle consiste en un flux continu d'images défilant les unes après les autres, rend l'information labile et souvent difficile à traiter pour les systèmes humains de conservation et de traitement de l'information, qui possèdent des capacités cognitives limitées. Le flux continu d'information est trop rapide et ininterrompu pour laisser le temps à l'utilisateur de construire la connaissance. On parle alors de surcharge cognitive. Les animations sont moins efficaces que les images statiques car elles surchargent, d'une part, la **charge mnésique**, en dépassant les capacités de stockage de l'information de la mémoire de travail qui est limitée dans la durée de conservation et le nombre d'items pouvant être conservés (Miller, 1956 ; Baddeley, 1986) et, d'autre part, la **charge conceptuelle**, en ce sens que l'être humain n'a pas le temps de traiter l'information et de se construire un modèle mental de la connaissance. Dans cette perspective, Mayer et Chandler (2001) ont pu montrer qu'en offrant la possibilité à l'utilisateur de garder un

certain contrôle sur le déroulement de l'animation, on diminuait la charge cognitive liée au flux d'information et, par voie de conséquence, augmentait la rétention de l'information.

Ainsi, les explications du constat d'échec des animations font le plus souvent référence à la théorie de la charge cognitive. L'excès d'information arrivant en même temps induirait une surcharge cognitive, c'est-à-dire une incapacité de l'être humain de gérer ce flux continu d'information, de le stocker dans la mémoire de travail (mémoire à court terme) et de structurer l'information afin de créer un modèle mental.

La surcharge cognitive constituerait donc une explication des mauvaises performances des utilisateurs des conditions « animation » vs. « graphiques statiques », mais elle n'a toutefois jamais été réellement caractérisée. Nous pensons que la supplantation des images (*frames*) antérieures par les images subséquentes dans les animations joue un rôle très important dans le traitement cognitif de l'information en sollicitant les capacités mnésiques du sujet de manière substantielle. La question que nous nous posons est de savoir si le fait de modifier les facteurs de l'interface de présentation d'une animation d'une présentation graphique animée peut influencer l'apprentissage.

Plus précisément, notre recherche a pour objectif de mettre en évidence l'influence, d'une part, de la **continuité du flux** et, d'autre part, de la **permanence des états antérieurs**.

Nous postulons qu'une animation facilite la compréhension du fonctionnement d'un système dynamique, car elle permet de visualiser les transitions entre étapes. Or, ces transitions entre étapes peuvent parfois être difficiles à se représenter et doivent être inférées dans le cas de graphiques statiques représentant les différentes étapes. Ainsi, les novices du domaine, qui n'ont pas les connaissances nécessaires pour inférer ces transitions, devraient comprendre plus aisément à partir d'une animation qu'à partir d'une série de graphiques statiques (Bétrancourt & Tversky, 2000). D'autre part, dans une animation, l'utilisateur n'a plus de référent, puisqu'une étape du fonctionnement (*frame*) supprime la précédente et ainsi de suite. Ce que nous nommerons par la suite la « non permanence des états antérieurs » ôterait à l'apprenant la possibilité de comparer les étapes entre elles, stratégie utile, si ce n'est nécessaire, à la construction d'un modèle mental (Mayer, 2001 ; Narayanan & Hegarty, 1998) et, *a fortiori*, à la compréhension d'un système causal.

Pour répondre à cette question, nous avons mis sur pied un dispositif permettant de conserver les états antérieurs d'une animation. Le système fonctionne un peu comme si plusieurs arrêts sur image étaient fait durant le déroulement d'un film et restaient présent dans un coin de l'écran pendant toute la durée du film. La possibilité de garder affichées à l'écran les images reflétant les grandes étapes du modèle conceptuel, ou "permanence des états antérieurs", est le facteur que nous avons voulu mettre en lumière. En outre, nous avons voulu vérifier que l'animation apportait un réel bénéfice par rapport à une série d'images statiques, testant ainsi l'effet de la continuité du mouvement des éléments d'informations.

2 EXPERIENCE

2.1 Méthode

2.1.1 Participants

Les 72 sujets étaient des étudiants de l'Université de Genève, 45 femmes et 27 hommes, d'une moyenne d'âge de 28 ans, choisis de manière aléatoire dans l'enceinte du bâtiment universitaire.

Le plan expérimental se présentait sous la forme d'un plan factoriel (ou plan croisé) intersujets où les 72 sujets étaient répartis dans quatre conditions correspondant au croisement de deux facteurs : permanence des états antérieurs (avec ou sans) et continuité de la présentation (mode continu, c'est-à-dire animé vs. mode discret, c'est-à-dire statique).

Tableau 1 : Distribution des sujets dans les quatre conditions

	Non permanence des états antérieurs	Permanence des états antérieurs
Présentation discrète	18 personnes	18 personnes
Présentation continue	18 personnes	18 personnes

2.1.2 Matériel

Le matériel pédagogique consiste en une présentation multimédia expliquant le processus de formation des éclairs. Il s'agit de l'adaptation française du matériel utilisé à plusieurs reprises par Mayer et ses collègues (entre autres, Mayer & Chandler, 2001 ; Mayer, R.E., Heiser, J., & Lonn, 2001 ; Mayer, 2001) avec leur aimable autorisation. Les quatre présentations ont été développées avec *Flash 5* (pour ce qui est des animations) et *Authorware 5* (pour l'implémentation finale) dans une résolution de 1280 par 1024 pixels. Ils comprenaient : (a) un formulaire avec des questions personnelles (âge, sexe, niveau d'étude, niveau en météorologie), (b) une présentation multimédia (diaporama ou animation), (c) un test de rétention de l'information, (d) un test de transfert des connaissances, (e) un questionnaire d'évaluation subjective de la tâche.

La présentation multimédia était segmentée en 8 étapes d'une dizaine de secondes chacune, à savoir : (1) L'air monte, (2) L'eau se condense, (3) Les cristaux de glace et les gouttelettes d'eau tombent, (4) Des rafales de vent froid balayent le sol, (5) Des charges négatives tombent depuis la base du nuage en direction du sol, (6) Deux charges principales, négative et positive, se rencontrent, (7) Les charges négatives du nuage se ruent vers le sol, (8) Les charges positives du sol montent vers le nuage.

Quatre versions du matériel, correspondant au croisement des deux facteurs continuité et permanence ont été créées. Le contenu informationnel était le même dans les quatre programmes multimédia, mais le mode de présentation variait. Les deux versions en mode continu reprenaient les huit séquences animées du matériel original telles quelles. En mode discret, chaque séquence animée était remplacée par la dernière image de cette séquence ; la présentation comprenait donc une série de huit images statiques et fonctionnait un peu comme un diaporama. Dans les deux versions avec permanence des états antérieurs, la dernière image de chaque séquence (mode continu) ou chaque image (mode discret) apparaissait en haut de l'écran lorsque que la séquence suivante démarrait. Les huit images s'accumulaient ainsi successivement sur l'écran (Figure 1). Les deux versions sans permanence affichaient simplement la présentation dans la partie inférieure de l'écran, chaque image ou séquence recouvrant la précédente. Nous avons donc quatre formats de présentation : (1) mode discret sans permanence (**discr-nonperm**), (2) mode discret avec permanence (**discr-perm**), (3) mode continu sans permanence (**cont-nonperm**), (4) et enfin, mode continu avec permanence. (**cont-perm**).

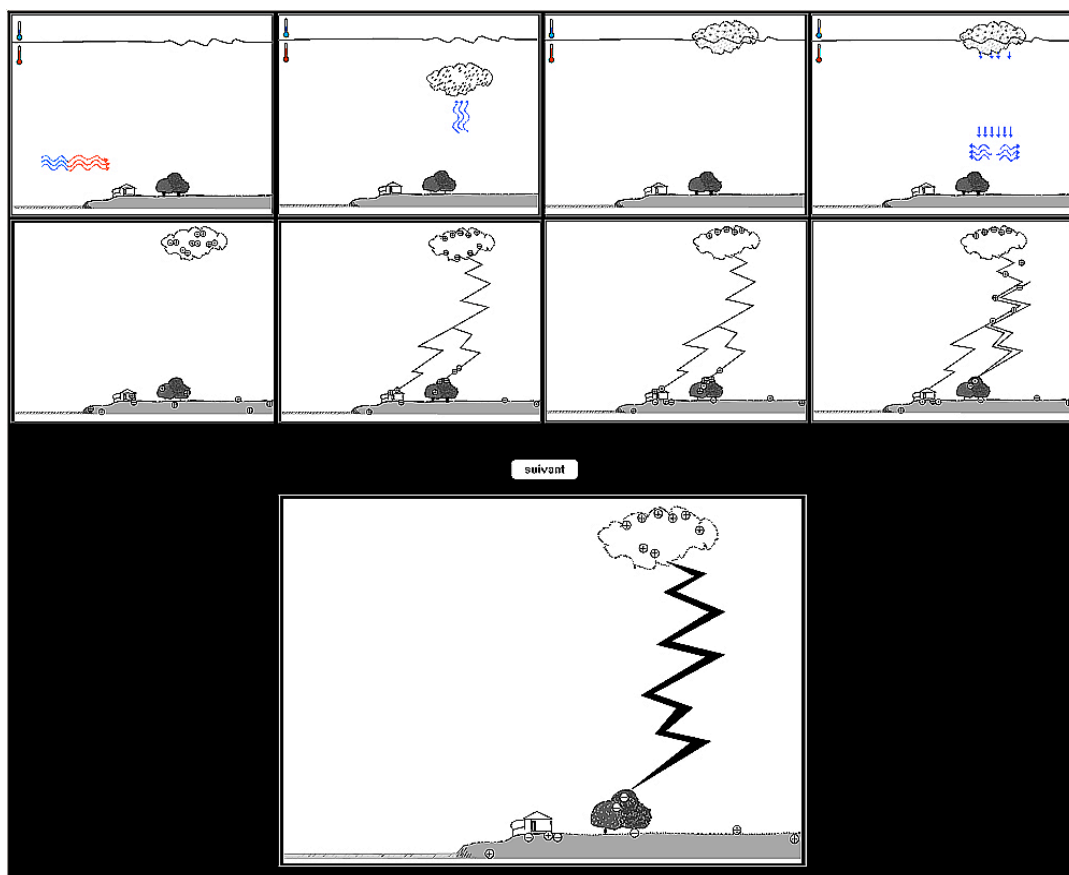


Figure 1 : L'apparence de l'écran à la fin de la présentation pour les deux conditions avec permanence des états antérieurs. Dans les conditions sans permanence, le haut de l'écran est vide.

Dans chaque condition, les utilisateurs décidaient de leur propre chef du rythme de présentation, puisqu'à la fin de chacune des huit étapes, l'instruction s'arrêtait et un bouton « *suivant* » apparaissait. A chaque arrêt du programme, l'utilisateur devait cliquer sur ce bouton pour continuer la présentation multimédia. Chaque séquence était accompagnée par une brève explication sonore (*speech*), stricte traduction des explications en anglais de Mayer.

2.1.3 Procédure

Les participants étaient installés individuellement devant l'ordinateur. Un premier questionnaire nous permettait de récolter des données sur l'âge, le sexe et le niveau d'étude des sujets, ainsi que sur leur niveau d'expertise en météorologie au travers d'une question subjective (« *Quelle est votre niveau en météorologie ?* »), cotée sur une échelle en 4 points.

Puis les sujets visualisaient à leur rythme deux fois de suite la même présentation et répondaient ensuite à un test de rétention de l'information comprenant 10 questions à choix multiples, afin d'évaluer ce qu'ils avaient retenu, et un test de transfert de 4 questions afin de mesurer leur niveau de compréhension du matériel. Les deux tests étaient construits sur la base des tests utilisés par Mayer. comme par exemple, pour le test de transfert, « *Que faudrait-il faire pour diminuer l'intensité d'un éclair ?* » ou « *Supposons que vous voyez des nuages dans le ciel mais pas d'éclair. Pourquoi ?* ».

Pour faciliter l'analyse des réponses, nous avons dû imaginer des réponses incorrectes pour en faire un QCM, puisque le test de transfert de Mayer consistait en des questions ouvertes.

Enfin, un questionnaire d'évaluation subjective de la tâche terminait l'expérience et permettait, sur la base d'une échelle de Lickert allant de 1 à 4, de savoir s'ils jugeaient (1) le contenu présenté très intéressant ou totalement inintéressant et (2) le sujet traité difficile ou facile à comprendre.

2.2 Résultats

2.2.1 Temps d'étude et de réponse

L'instruction multimédia était présentée deux fois à l'utilisateur, mais celui-ci avait le contrôle sur le passage à la séquence ou image suivante. La figure 2 présente les temps moyens pour l'étude du matériel et pour les réponses aux tests de rétention et transfert dans chaque condition.

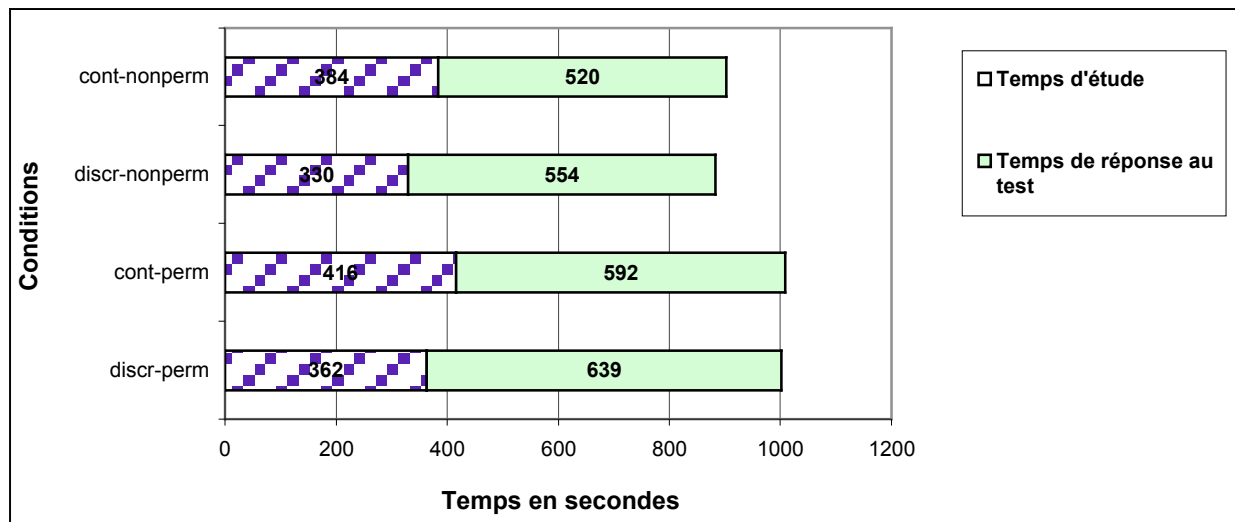


Figure 2 : Temps moyens d'étude du matériel et de réponse aux tests de rétention et de transfert dans les quatre conditions.

Les sujets des conditions continues passent significativement plus de temps à étudier la présentation que les sujets des conditions discrètes ($F(1,68) = 49.45$, $MSE = 52056.89$, $p < .0001$). L'effet de la permanence est également significatif ($F(1,68) = 18.06$, $MSE = 19012.5$, $p < .0001$), dans le sens de temps d'étude plus longs pour les conditions avec permanence. En revanche, il n'y a pas d'interaction entre les facteurs continuité et permanence ($F(1,68) = 0$).

Le temps pour répondre aux questions (rétention et transfert confondus) ne différaient pas significativement entre les conditions (effet continuité : ($F(1,68) = 0.56$; effet permanence : ($F(1,68) = 2.12$)).

2.2.2 Performances de compréhension et de mémorisation

La figure 3 présente le taux de réponses correctes aux tests de rétention et de transfert.

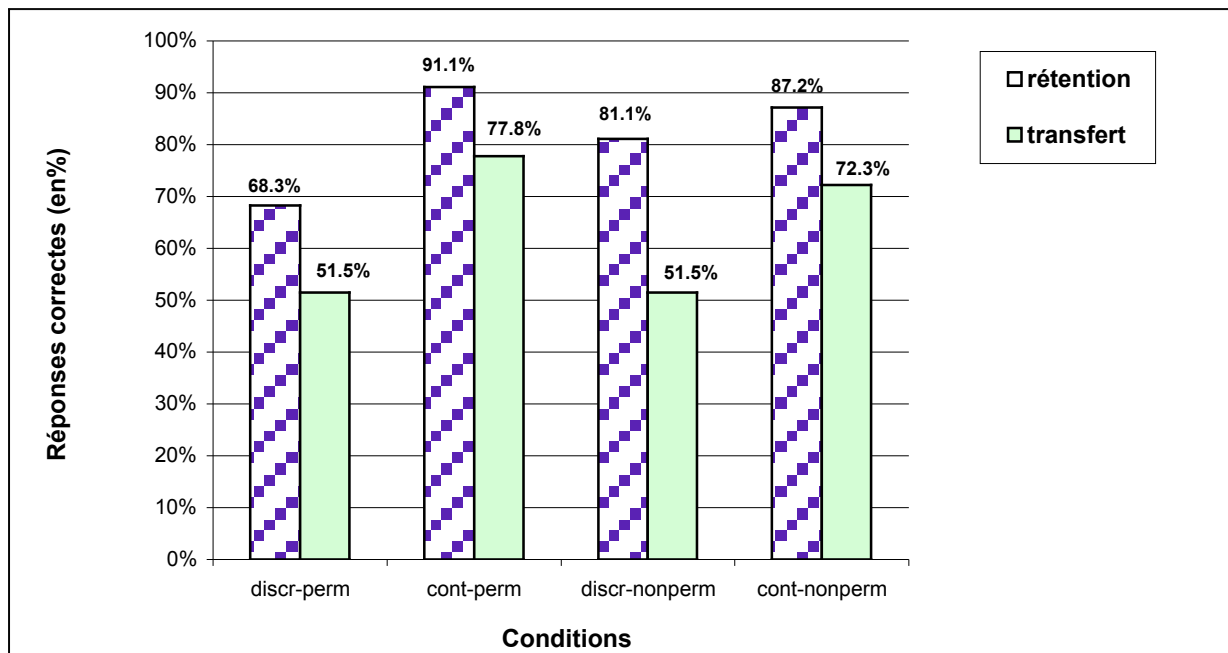


Figure 3 : Taux de réponses correctes aux tests de rétention et de transfert dans les quatre conditions.

En ce qui concerne le test de rétention, les groupes avec présentation animée ont obtenu un score significativement plus élevé que les groupes avec présentation discret ($F(1,68) = 14.37$, $MSE = 37.56$, $p < .001$). L'effet de la permanence n'est pas significatif ($F(1,68) = 1.36$), mais l'interaction entre permanence et continuité est significative ($F(1,68) = 4.78$, $MSE = 12.5$, $p < .05$) : de fait, la permanence des états antérieurs n'a aucun effet lorsque la présentation est animée, alors que dans les groupes à présentation discrète, la permanence induit des scores de rétention inférieurs, ce qui va dans le sens du concept d'attention distribuée (Sweller, 1988) ou de redondance de l'information (Mayer). De même, les scores de transfert sont significativement plus élevés dans les conditions continues que dans les conditions discrets ($F(1,68) = 19.00$, $MSE = 16.05$, $p < .0001$). En revanche, l'effet de la permanence n'est pas significatif ($F(1,68) = .26$), ni l'effet de l'interaction entre permanence et continuité ($F(1,68) = .26$).

2.2.3 Evaluation subjective

Après avoir répondu aux tests, les participants devaient évaluer sur une échelle en 4 points la difficulté et l'intérêt du matériel (Figure 4).

La difficulté perçue est un indicateur de la charge cognitive que l'utilisateur a eu le sentiment de mobiliser pour comprendre le matériel et répondre aux questions. Nous avons utilisé un test de Mann-Whitney afin de pouvoir classer les jugements des sujets, basés sur des variables ordinales. On note un effet significatif de la continuité ($z = -3.218$, $p < .01$), dans le sens d'une charge perçue plus élevée dans les conditions discrets. L'effet de la permanence n'est pas significatif ($z = -.781$).

En ce qui concerne l'intérêt du matériel, les quatre conditions ne se distinguent pas significativement (effet continuité : $z = -.853$; effet permanence : $z = -.731$).

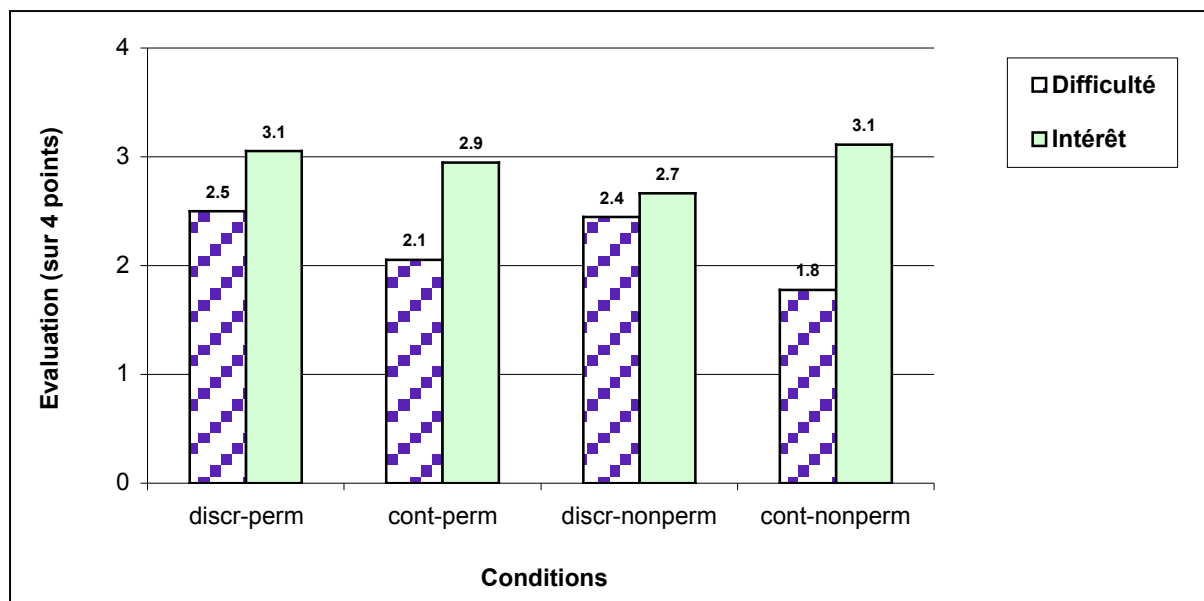


Figure 4 : Auto-évaluation de la difficulté et de l'intérêt porté à la tâche

3 DISCUSSION

L'étude expérimentale rapportée dans ce papier avait pour objectif de répondre à deux questions : tout d'abord, une animation continue est-elle plus efficace qu'une série d'images statiques pour faire comprendre le fonctionnement d'un système dynamique ? Ensuite, la permanence des étapes critiques du processus dans une portion de l'écran permet-elle de soulager la mémoire de travail et donc de faciliter le traitement des informations ?

Les résultats obtenus apportent des réponses assez claires sur l'effet de la continuité. En effet, la présentation avec animation donne lieu à des scores de rétention et de transfert significativement plus élevés que la présentation discrète, constituée d'une série d'images fixes. Ce résultat va dans le sens des hypothèses de Bétrancourt & Tversky (2000) qui postulent qu'une animation est bénéfique pour l'apprentissage si elle permet de visualiser les micro-étapes et les transitions entre états. Il est à noter que cette amélioration des performances de mémorisation et de compréhension s'accompagne de l'augmentation significative du temps d'étude. Il existe plusieurs façons d'expliquer cette augmentation du temps d'étude : soit que le matériel (continu) est plus lourd et donc son traitement nécessite plus de temps de réflexion entre les séquences ; soit que la formation d'un modèle mental dynamique est plus coûteux cognitivement que la simple mémorisation ; soit que la motivation à étudier le matériel est plus grande dans les conditions continues que dans les conditions discrètes. Les données de l'évaluation subjective montrent que les participants des conditions continues rapportent une charge de travail inférieure aux participants des conditions discrètes. Nos résultats actuels sont donc en faveur de l'hypothèse motivationnelle pour expliquer l'augmentation des temps d'étude, mais d'autres expérimentations sont nécessaires pour la confirmer.

La seconde question concernait la conception des caractéristiques de l'interface qui permettraient de diminuer la charge mnésique mobilisée par l'utilisateur pour mémoriser les étapes antérieures au fur et à mesure que s'écoule la présentation (qu'elle soit en mode discret ou continu). Les résultats ne révèlent aucun effet de la permanence sur les scores de rétention ou de transfert, ni sur l'évaluation subjective. Le seul résultat significatif de l'effet de la permanence concerne le temps d'étude qui est plus long pour les sujets des conditions avec permanence que pour les sujets des conditions sans permanence et laisse penser que les sujets ont pris le temps de comparer les transitions d'états et ont donc exploité ce mode de présentation alternatif.

Un autre résultat significatif en lien avec la permanence concerne l'interaction entre continuité et permanence au test de rétention : alors que la permanence n'a aucun effet sur les performances dans la condition continue, elle diminue les performances dans la condition discrète. L'hypothèse que nous pouvons avancer pour expliquer cette absence d'effet bénéfique de la permanence est celle d'un partage de l'attention (Chandler & Sweller, 1991) entre les vignettes affichées en haut de l'écran et la présentation principale. L'analyse statistique des résultats de l'évaluation subjective ne permet pas de confirmer cette hypothèse, même si les données observées vont plutôt dans ce sens. Une autre hypothèse consiste tout simplement à penser que les sujets ont

considéré trop lourd de traiter cette deuxième source d'information et l'ont tout simplement ignorée. Un moyen de contrôler cela serait d'utiliser un dispositif de suivi oculaire (*eyetracking*). En comparant le nombre de fixations oculaires entre le haut et le bas de l'écran, il serait possible de vérifier si les utilisateurs traitent ou non les vignettes rappelant les états antérieurs, à quel moment de la présentation et dans quelle proportion de temps. Ces données donneraient de précieuses informations sur le traitement cognitif de l'animation.

La grande question de cette recherche reste donc de savoir pourquoi la permanence des états antérieurs de la présentation continue n'a pas aidé le traitement cognitif de l'animation ? Pour interpréter les données peu contrastées que nous avons obtenues, nous pensons qu'il y a pu y avoir deux types de problème:

Tout d'abord, un problème de surcharge cognitive. Cette interprétation pour le moins paradoxale suggère que les sujets ont "considéré" la permanence des états antérieurs comme une nouvelle source d'information, complémentaire (ou supplémentaire) à celle de la présentation principale et, par effet de redondance et/ou de dissociation de l'attention, ont eu plus de difficulté à traiter le matériel. Si cette interprétation s'avérait être correcte, une solution serait peut-être d'informer préalablement les apprenants que la permanence des états antérieurs constitue une aide pour ne pas avoir à retenir les étapes antérieures de l'animation.

Ensuite, un problème plus fondamental, en termes de construction du modèle mental, nous laisse penser que ce serait inutile d'avoir un récapitulatif des étapes de l'animation pour se construire un modèle mental, soit parce que l'être humain est suffisamment équipé pour s'en rappeler, soit parce que les étapes et séquences que nous avons choisies dans notre matériel n'étaient pas suffisamment informationnelles.

Cette dernière explication nous amène à émettre quelques critiques concernant notre matériel. En effet, la présentation que nous avons utilisée est basée sur le matériel de Richard Mayer (Mayer & Moreno, 1998), traduite et adaptée à partir de celui-ci. Mayer et Moreno ont utilisé leur matériel pour un certain type d'expérience et leurs questions de recherche n'étaient pas les mêmes que les nôtres. Peut-être que ce matériel n'était pas le plus adapté à notre expérience. Les séquences sont courtes, les schémas simplifiés au maximum et le son n'est pas de très bonne qualité.

Par ailleurs, et c'est là sans doute le point le plus important, le matériel de Mayer comprenait 16 images/étapes (*frame*) en condition discrète et, pour des raisons de résolution d'écran (max. 1280x1024) et donc de place, nous avons dû réduire le nombre des images composant la présentation statique à 8. L'explication du processus de la formation des éclairs de Mayer comprend bien 8 étapes principales, mais Mayer a utilisé 2 images pour 1 étape et nous n'en avons utilisé qu'une par étape. Cette adaptation a certainement rendu la permanence des principales étapes du processus de la formation des éclairs moins pertinente que si l'on avait pu afficher les 16 étapes de manière permanente. Dans cette perspective, il serait certainement très intéressant de reprendre cette expérience, mais avec un nouveau matériel, spécialement conçu pour ce plan expérimental.

4 CONCLUSION

En termes de recommandations à l'usage des concepteurs de documents multimédia, cette étude a permis de vérifier que l'animation pouvait faciliter la mémorisation et la compréhension d'instructions multimédia, du moins dans les conditions d'utilisation testées ici où l'utilisateur avait le contrôle sur le rythme de la présentation. L'animation peut donc être bénéfique lorsque le matériel explique le fonctionnement d'un système dynamique et que les transitions entre étapes ne sont pas facilement compréhensibles par les novices. En revanche, notre tentative pour diminuer la charge de travail en laissant affichées les étapes antérieures de la présentation, a échoué. Néanmoins, cet effet n'a pas été négatif non plus dans les conditions continues et d'autres études expérimentales sont prévues pour tester l'effet de la permanence en situation collaborative. En effet, il est particulièrement important pour les paires d'utilisateurs de pouvoir faire référence aux étapes précédentes, de façon à construire une représentation partagée de la situation (Dillenbourg & Traum, 1999). Dans ce cas, la permanence des étapes antérieures sur l'écran en parallèle de la présentation continue pourrait faciliter ce processus.

5 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Pierre Dillenbourg qui a participé à la réflexion concernant la conception de cette expérience. Nous sommes particulièrement reconnaissants à Richard Mayer et son équipe, qui nous ont aimablement envoyé leur matériel multimédia.

6 BIBLIOGRAPHIE

Baddeley, A.D. (1986). Working Memory. Oxford : Clarendon Press.

-
- Baek, Y.K., & Layne, B.H. (1988). Color, graphics and animation in a computer-assisted learning tutorial lesson. *Journal of Computer-based Instruction*, 15, 131-135.
- Bétrancourt, M., Bauer-Morrison, J. & Tversky, B. (2001). Les animations sont-elles vraiment plus efficaces ? *Revue d'intelligence artificielle*, 14 (1-2), 149-166.
- Bétrancourt, M. & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on user's performance : a review. *Le travail Humain*, 63(4), 311-330.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Dillenbourg, P. & Traum, P. (1999). Does a shared screen make a shared understanding ? *Proceedings of the Third CSCL Conference*, pp. 127-135, Stanford, Dec. 1999.
- Gonzales, C. (1996). Does animation in user interfaces improve decision making? in *Proceedings of the International Conference in Computer Human Interaction CHI'96* (pp 27-34). New York, NY: ACM Press.
- Levin, J. R. Mayer, R. E. (1993). Understanding illustrations in text. In B. K. Britton, A. Woodward & M. Binkley (Eds.), *Learning from textbooks: Theory and practice* (pp. 95-113). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1991). Animations need narrations : An experimental test of dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484-490.
- Mayer, R.E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R., & Tapangco, L. (1996). When less is more : Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. *Journal of Educational Psychology*, 88, 64-73.
- Mayer, R.E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390-397.
- Mayer, R.E., Heiser, J., & Lonn, S. (in press). Cognitive constraints on multimedia learning : When presenting more materials results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*.
- Miller, G.A. (1956). The magical number Seven, plus or minus two: some limits of our capacity for processing information, *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Narayanan, N. & Hegarty, M. (1998). Intelligible Multimedia. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- Palmiter, S. & Elkerton, J. (1993). Animated Demonstrations for Learning Procedural Computer-Based Tasks. *Human Computer Interaction*, 8, 193-216.
- Rieber, L.P. (1990). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 38, 77-86.
- Rieber, L.P. (1994). *Computers, graphics, and learning*. Madison, WI: Brown & Benchmark.
- Rieber, L.P., Boyce, M. & Assad, C. (1990). The effect of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of computer-based Instruction*, 17, 46-52.
- Rieber, L.P. & Kini, A.S. (1991). Theoretical foundations of instructional Applications of computer-generated animated visuals. *Journal of computer-based Instruction*, 18, 83-88.
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition : how do graphical representations work ?. *Human-Computer Studies*, 45, 185-213.
- Spool, J.M., Scanlon, T., Schroeder, W., Snyder, C., DeAngelo, T. (1999) *Web Site Usability: A Designer's Guide*. Morgan Kaufmann Inc. San Francisco, CA. USA.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.
- 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*, 119, 176-192
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37-64.