

Les animations sont-elles vraiment plus efficaces ?

Mireille Betrancourt

TECFA
Université de Genève
Bd du Pont d'Arve, 40
1211 Genève 4
SUISSE
Mireille.Bétrancourt@tecfa.unige.ch

**Julie Bauer-Morrison et
Barbara Tversky**

Department of Psychology,
Bldg 420,
Stanford University,
Stanford CA 94305-2130,
U.S.A.
bt@psych.stanford.edu

RÉSUMÉ. Les produits multimédia actuels font un usage extensif des animations, que ce soit dans un but uniquement esthétique et motivant, ou bien dans un but pédagogique. Cependant, lorsque les animations sont utilisées pour améliorer la compréhension d'instructions techniques ou didactiques, sont-elles vraiment plus efficaces que les traditionnelles illustrations statiques ? Les recherches qui ont comparé les performances des utilisateurs ont montré que la plupart du temps, illustrations statiques et animées sont également efficaces. Nous présentons une explication de ce résultat basé sur les caractéristique du traitement perceptif et cognitif des graphiques animés, puis concluons pas des recommandations de base pour la conception d'animations efficaces.

ABSTRACT. Animations have been extensively used in multimedia instructions, either for an esthetic and motivating purpose, or in an explanative objective. However, when animations are used to support understanding of technical or educational materials, are they actually more effective than good old static graphics? The research which compared users' performance have shown that most of the time, static and animated graphics are equally effective. We present an explanation for this result on the basis of the perceptive and cognitive processing of animated graphics. Then we conclude with basic guidelines for designing effective animations.

MOTS-CLÉS: animation sur ordinateur, instructions multimedia, performance des utilisateurs, recommandations pour concepteurs

KEY WORDS : computer animation, multimedia instructions, users' performance, guidelines for designers

1. Introduction

1.1. De l'usage des graphiques

L'enthousiasme des concepteurs de documents techniques ou didactiques pour les graphiques de toute sorte repose sur la croyance qu'ils améliorent la compréhension et l'apprentissage [LAR 87; LEV 82 ; LEV 93 SCH 94 ; TVE 95 ; TVE in press;

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

WIN 89].

Un premier atout des graphiques est d'être attractif par leur qualité esthétique ou leur caractère humoristique, ce qui attire l'attention de l'utilisateur et maintient sa motivation. En second lieu, les graphiques, comme dit le proverbe, permettent de représenter en un schéma des objets qui sinon demanderaient de longues descriptions. C'est par exemple le cas pour les visages, les cartes et plus généralement les systèmes qui sont par essence spatiaux ou qui sont difficiles à décrire et visualiser.

L'utilisation des graphiques remonte aux premières sociétés organisées où ils servent à représenter et préserver les informations d'ordre historique, politique, économique et individuel. De tels enregistrements graphiques ont recouvert une myriade de formes, comme les décomptes, les marques et les entailles [GELB 63].

Une troisième utilisation des graphiques est d'utiliser l'espace pour organiser l'information et pour faciliter la mémorisation [TUF 83]. Les menus des applications informatiques offrent un exemple contemporain de cet usage qui remonte à des époques plus lointaines [YAT 69]. Les graphiques permettent ainsi d'externaliser des connaissances, rendues accessibles à une communauté qui peut alors les considérer et les revoir.

Enfin, les graphiques ont été utilisés pour inciter à l'inférence et à la découverte, dans la mesure où ils permettent de représenter des structures et des processus [LAR 87; MAY 89]. D'ailleurs, dans cette optique, les graphiques les plus épurés sont plus efficaces que des graphiques réalistes [DWY 78], à condition que les informations conceptuelles essentielles soient représentées.

1.2. Visualisation du concret ou de l'abstrait

Les graphiques peuvent être classés en deux catégories principales : les graphiques *représentationnels*, qui représentent des objets ou scènes qui sont par essence visuo-spatiaux (plans, molécules, esquisses architecturales...), et ceux qui représentent des objets qui ne sont pas intrinsèquement visuels ou spatiaux, comme les histogrammes, les graphes et les diagrammes logiques.

Les graphiques qui représentent des objets visuo-spatiaux ont un avantage clair et évident sur les autres moyens de communication et notamment le langage verbal, au sens où ils utilisent l'espace pour communiquer des informations spatiales. Bien que la correspondance soit alors naturelle, dans certaines situations un texte bien conçu est aussi efficace que les graphiques (par exemple instructions pour suivre un itinéraire). Quant aux graphiques qui représentent des objets qui ne sont pas intrinsèquement visuels ou spatiaux, ils reposent sur des métaphores spatiales. Les éléments graphiques peuvent transmettre un contenu abstrait au travers de « figures de représentation ». Par exemple on retrouve dans les interfaces graphiques la métonymie, qui consiste à utiliser un élément concret pour représenter un concept abstrait, où une paire de ciseaux représente l'action « détruire ». Un autre ensemble de graphiques non-représentationnels utilise la proximité spatiale comme métaphore de base sous-jacente à l'utilisation de l'espace pour transmettre des relations

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

abstraites. La proximité spatiale représente alors la proximité sur une dimension abstraite, comme la causalité ou le temps [TVE 95 ; TVE in press). Les graphiques représentationnels sont une invention des temps anciens, utilisée dans toutes les cultures, de même que les graphiques qui utilisent des figures de représentation. En fait, le langage écrit trouve ses origines dans l'abstraction et la « conventionnalisation » de ces figures [PEL 00]. En revanche, l'utilisation de la métaphore spatiale pour représenter d'autres relations est une invention occidentale récente.

Etant donné que les graphiques peuvent représenter des concepts spatiaux ainsi que des concepts non spatiaux, on peut s'attendre à ce que leur efficacité s'applique largement. De fait, il est difficile de synthétiser la vaste littérature sur l'efficacité des graphiques autrement que par un résumé aussi général que : l'ajout de graphiques dans un texte facilite la compréhension et la mémorisation des informations [LEV 82, DEN 96].

1.3. Correspondances cognitives naturelles dans les graphiques

L'atout des graphiques réside dans leur caractère « naturel ». Par naturel, nous entendons l'utilisation de l'espace pour représenter des concepts spatiaux et abstraits, ce qui suggère qu'il existe une correspondance entre les espaces réels et les espaces mentaux. Le caractère naturel de cette correspondance cognitive est attesté par l'invention des mêmes graphiques pour transmettre les mêmes contenus dans différentes cultures [DEF 89]. Le langage pictural utilisé par les premiers hommes en est un exemple. La façon de schématiser les personnes, les montagnes, les rivières etc. était très similaire d'une culture à l'autre et à différentes époques. D'ailleurs, ces schématisations sont très proches des reproductions graphiques des enfants d'âge pré-scolaire [TOL 87]. L'utilisation des relations spatiales pour exprimer des relations temporelles, quantitatives et les préférences apparaît chez les enfants dès cinq ans et dans différentes cultures [TVE 91]. Spontanément, les enfants utilisent principalement des lignes horizontales ou verticales, où l'ordre croissant va vers le haut ou vers la droite ou la gauche. De même, un taux croissant est spontanément associé à une pente montante. [GAT 96].

1.4. Etre ou ne pas être un graphique efficace.

Avec les récentes avancées des technologies informatiques et avec l'augmentation des contacts entre cultures ne partageant pas le même langage, les dispositifs graphiques ont proliféré. Cependant, le développement des outils et des dispositifs est plus souvent conduit par la tentation de produire des graphiques attrayants plutôt que fondé sur les principes cognitifs dérivés des recherches sur leur utilité. Les graphiques ne sont pas toujours pertinents, ou dit différemment, tous les graphiques ne sont pas pertinents dans toutes les situations. Les recherches comparant les instructions avec graphiques aux instructions avec texte seul rapportent des résultats mitigés, souvent malgré l'enthousiasme des auteurs pour les dispositifs imaginés (voir les revues par [LEV 82] [MAN 89]). D'ailleurs, une grande partie de ces recherches a utilisé des comparaisons globales entre les media et n'a pas adressé la question plus subtile de ce qui explique la facilitation quand elle se produit. Car la recherche a

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

progressé et, les types de situations, graphiques, tâches, et utilisateurs pour lesquels l'utilisation de graphiques est pertinente, sont devenus plus clairs [PEE 93].

Les graphiques tri-dimensionnels en sont un bon exemple. Ils sont inclus dans de nombreuses applications et semblent être appréciés des utilisateurs [LEV 96]. Cependant, il est loin d'être prouvé que la troisième dimension améliore les performances des utilisateurs. Dans certaines tâches, par exemple de mémorisation, il n'y a pas de différences entre graphiques 2D et 3D, et dans d'autres tâches, comme l'estimation de tendances ou de valeurs, les graphiques 3D sont même moins efficaces [CAR 91] [ZAC 98].

1.5. L'animation

L'animation est l'un des nouveaux dispositifs graphiques les plus attrayants. Au niveau de la forme, l'animation est séduisante. Sur le fond, l'animation devrait être le moyen le plus naturel pour communiquer le concept de changement dans le temps, de même que l'espace dans les graphiques est le moyen le plus naturel de transmettre des relations spatiales. L'animation devrait donc, en toute logique, être efficace pour représenter des processus comme les phénomènes météorologiques, les circuits électriques, les systèmes de régulation biologiques ou les dispositifs mécaniques. En outre, de même que l'espace est un moyen efficace de communiquer des relations abstraites, on peut supposer que des changements physiques pourraient représenter efficacement des changements métaphoriques, comme l'expansion géographique d'inventions telles que l'écriture, l'agriculture ou la métallurgie au cours du temps, ou encore la circulation des informations dans une organisation, et l'évolution dans la production de différentes industries au cours du temps. Étant donné l'étendue des concepts pour lesquels l'animation est appropriée et l'accessibilité croissante des outils permettant de générer des animations, l'enthousiasme pour ce dispositif est compréhensible.

Sans perdre de vue cette introduction sur l'usage des graphiques en général, nous allons établir une revue de question sélective de la recherche sur l'animation. Sélective, car nous avons exclu les études sur l'animation qui ont également incorporé dans la situation de communication d'autres facteurs, notamment l'interactivité, qui est connue pour sa propre efficacité. Pour évaluer l'effet intrinsèque de l'animation, celle-ci doit être comparée à des graphiques statiques, qui ne changent pas dans le temps, puisque c'est la caractéristique distinctive de l'animation. Cette revue ne va pas conforter l'enthousiasme ambiant pour l'utilisation de l'animation. Au contraire, elle nous a incitées à nous demander pourquoi l'animation n'est pas aussi bénéfique que ce que l'on pourrait attendre. Pour comprendre ce manque d'efficacité, nous nous pencherons sur la façon dont le système cognitif humain perçoit et conçoit les animations. Connaissant ces limitations perceptives et cognitives, nous reposerons la question fondamentale : quand l'animation est-elle efficace ?

2. L'animation est-elle vraiment efficace : revue de recherches

2.1. Les fonctions de l'animation dans les interfaces

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

Sur ordinateur, on rencontre quatre types d'usage de l'animation. Le premier usage est d'attirer l'attention : c'est une fonction que l'on rencontre couramment dans les sites Web, pour attirer l'attention sur des opérations promotionnelles, des informations nouvelles ou importantes. L'œil étant automatiquement attiré par le mouvement, l'objectif du concepteur est généralement atteint. Mais en contre-partie, une animation que l'on ne peut arrêter devient rapidement insupportable dans la mesure où elle perturbe l'attention sur les autres parties de l'écran. Un deuxième usage de l'animation pour les interfaces est de donner des informations sur le déroulement d'un processus au niveau du système. C'est le cas de l'icône en mouvement (par exemple la montre) qui indique à l'utilisateur qu'un processus est en train de se dérouler et qu'il faut patienter. Plus informative, la barre d'état qui se noircit au fur et à mesure que le processus se déroule illustre l'usage de l'espace comme métaphore d'un processus temporel. Ce second usage répond à la contrainte de visibilité des opérations du système, contrainte couramment évoquée en interaction personne-machine. Plus similaires à l'usage général des graphiques que nous avons décrit plus haut, les deux derniers usages concernent l'utilisation de l'animation comme aide à la communication d'informations dans une perspective instructionnelle. L'animation peut être utilisée avec une fonction de démonstration, où elle s'apparente d'avantage à une vidéo, que les images soient réelles ou de synthèse. Les fonctions à la disposition de l'utilisateur sont en général les fonctions classiques de lecture d'un magnétoscope (pause, retour en arrière, rejouer, éventuellement pas à pas...), comme dans les recherches de Lee [LEE 97] ou de [THO 90]. Enfin l'animation peut être intégrée dans une pratique interactive, au sens où les changements dans l'animation varient en fonction des entrées de l'utilisateur. On parlera alors de simulation, comme dans les recherches de Pane et ses collègues [PAN 96]. Ce sont ces deux types d'usages que l'on discutera dans cette revue.

2.2. Les différentes formes d'animation

Bien sur, les changements au cours du temps peuvent être représentés de différentes façons, conduisant ainsi à des animations de complexité variée. Le plus simple des mouvements est sans doute une trajectoire, qui peut être représentée par le mouvement d'un simple point, tant que les caractéristiques de l'objet en mouvement ne sont pas pertinentes. La représentation de la vitesse ou de la nature d'un mouvement peut demander des animations plus riches. Plus complexe qu'une trajectoire, l'animation peut représenter le mouvement des éléments d'un système ou d'un objet les uns par rapport aux autres. En outre, la trajectoire ou le mouvement des éléments d'un système peuvent se dérouler en deux ou trois dimensions. Il s'agit là de situations où les objets bougent par rapport à l'écran de l'utilisateur, mais ce peut aussi être le point de vue de l'observateur qui change, comme dans c'est fréquemment le cas dans les jeux vidéo pour augmenter l'immersion de l'utilisateur dans le système. C'est l'information que l'on veut communiquer qui détermine la forme de l'animation. Mais quelle que soit sa forme, pour être efficace, une animation doit être correctement perçue et conceptualisée. Clairement, la complexité de l'animation nuit à sa compréhension.

2.3. Quand l'animation n'est pas plus efficace qu'un graphique statique

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

La littérature rapporte beaucoup de cas où l'animation n'a pas produit les bénéfices attendus. [RIE 88] et [RIE 89] n'ont trouvé aucun avantage de l'animation sur l'apprentissage des lois de Newton pour des élèves de l'école élémentaire. Dans le premier cas, l'animation était utilisée comme activité préalable à la présentation de chaque section correspondante de la leçon [RIE 88]. Dans le second cas [RIE 89], l'instruction supplémentaire était utilisée comme activité d'approfondissement après la leçon, et contenait un texte, soit seul, soit accompagné de graphiques statiques ou animés. Aucun type d'instruction ne s'est distingué des autres en terme d'efficacité. [RIE 90b] ont utilisé la même procédure expérimentale pour évaluer la compréhension des lois de Newton par des étudiants de premier cycle. Comme dans les expériences précédentes, l'animation ne s'est pas montrée plus efficace que les autres supports. D'autre part, l'introduction d'interactivité dans l'animation n'a pas modifié son efficacité dans aucune des trois expériences.

Dans une autre recherche, les étudiants d'un cours de biotechnologies ont reçu un matériel expliquant la production d'hormones de croissance contenant soit un texte seul, un diagramme statique ou un diagramme animé [CHA 98]. Lorsqu'ils étudiaient une notion contenant un processus, comme la formation d'un peptide, les étudiants dans la condition statique voyaient un seul diagramme représentant les différentes étapes du processus. Les étudiants dans la condition animée voyaient une succession d'animations décrivant chaque étape du processus. Dans les deux conditions les étudiants ont obtenu des performances identiques. En fait, la seule différence observée dans cette expérience fut entre les conditions graphiques statiques et sans graphiques pour ceux qui avaient des connaissances en biologie. Toutes les autres conditions étaient équivalentes, que les étudiants aient ou non des connaissances en biologie.

Toujours en biologie, des étudiants de collège avaient accès à un environnement multimédia pour approfondir leur cours (Advanced Computing for Science Education). Cet environnement intégrait des textes, des graphiques statiques, des vidéos et des simulations [PAN 96]. Mais les étudiants qui ont utilisé cet environnement n'ont pas eu de meilleurs résultats que les autres étudiants, sauf pour des notions présentées exclusivement dans l'environnement informatique.

Dans un autre type d'usage, l'animation apparaît fréquemment pour expliquer comment utiliser un programme informatique. Mais là encore elle n'a pas démontré son efficacité. Trois équipes de chercheurs ont étudié l'utilisation d'animations pour enseigner respectivement l'utilisation d'un Macintosh [DIC 95], de l'éditeur graphique MacDraw [PAY 92], et du logiciel Hypercard [HAR 95]. Les résultats ont montré que l'animation n'a pas été plus efficace qu'un matériel en texte seul [DIC 95] [PAY 92] ou qu'un matériel avec graphiques statiques [HAR 95].

Palmiter et ses collègues [PAL 91] [PAL 93] ont comparé l'utilisation d'animations ou d'instruction statiques (texte et graphiques) pour expliquer l'utilisation de l'aide en ligne du logiciel Hypercard sur Macintosh. Les instructions statiques correspondaient aux instructions d'un manuel papier traditionnel, alors que les animations montraient les étapes à suivre pour exécuter une procédure (déplacement de la souris dans les menus correspondant, etc.). Si les utilisateurs ayant étudié l'animation sont plus rapides que les autres pour exécuter les procédures lors de la phase d'entraînement, ils sont plus lents lors du test. En outre, au test différé une

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

semaine après, les performances des utilisateurs ayant étudié l'instruction papier augmentent, alors que les performances des utilisateurs ayant vu l'animation diminuent. Les auteurs attribuent cette différence à long terme par un traitement plus approfondi de l'instruction statique lors de l'entraînement, celle-ci étant moins évidente à reproduire que les animations.

2.4. Quand l'animation s'avère plus efficace

L'une des utilisations les plus élégantes et sobres de l'animation fut une paire de pointillés se déplaçant pour illustrer les différences de vitesse [BAE 88]. Dans cette animation, toutes les caractéristiques non pertinentes de la situation ont été éliminées, et les aspects essentiels réduits à des points se déplaçant de façon proportionnelle à la vitesse indiquée. Bien que le dispositif animé ait donné lieu à de meilleures performances que le graphique statique, on ne peut pas vraiment conclure pour un bénéfice de l'animation. En effet, le graphique statique n'utilisait pas la dimension spatiale pour représenter les notions de distance et de temps, qui sont fondamentales dans l'appréhension du concept de vitesse (Figure 1). D'ailleurs, il s'agit plus de texte tabulé que de graphique. Ainsi, il n'y a aucun moyen de savoir si l'animation aurait été plus efficace qu'un graphique statique comparable.

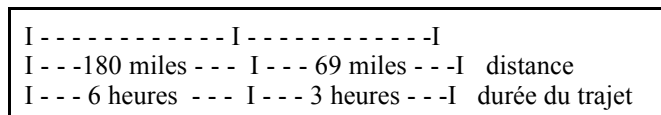


Figure 1. un exemple de graphique statique utilisé par [BAE 88]. Le graphique animé montrait l'animation d'une paire de lignes pointillées se déplaçant à une vitesse proportionnelle au temps de déplacement. Dans l'exemple ci-dessus, la ligne était animée pendant 12 secondes pour le voyage de 6 heures et pendant 3 secondes pour celui de 3 heures.

D'autres études où graphiques statiques et animés ne sont pas comparables biaisent les conclusions sur les éventuels bénéfices de l'animation. Dans une étude où le matériel instructionnel expliquait le système circulatoire humain, le graphique animé représentait l'itinéraire emprunté par le sang, mais pas le graphique statique [LAR 96]. Dans les leçons de Rieber [RIE 90] [RIE 91a] [RIE 91b] présentant les lois de Newton sur le mouvement, les graphiques statiques n'incluaient pas des éléments fondamentaux pour la compréhension de ces lois. Comme on peut le voir Figure 2, le graphique statique pour la loi de Newton sur l'effet de forces égales et opposées décrivait le mouvement de la balle, mais pas le fait qu'un coup opposé au coup de départ stoppait le mouvement de la balle. Le concept d'inertie, qui est essentiel pour comprendre cette loi, ne peut être extrait que du texte adjacent. A l'inverse, le graphique animé montrait que le coup de pied déclenchait le mouvement de la balle et qu'un coup opposé l'arrêtait.

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

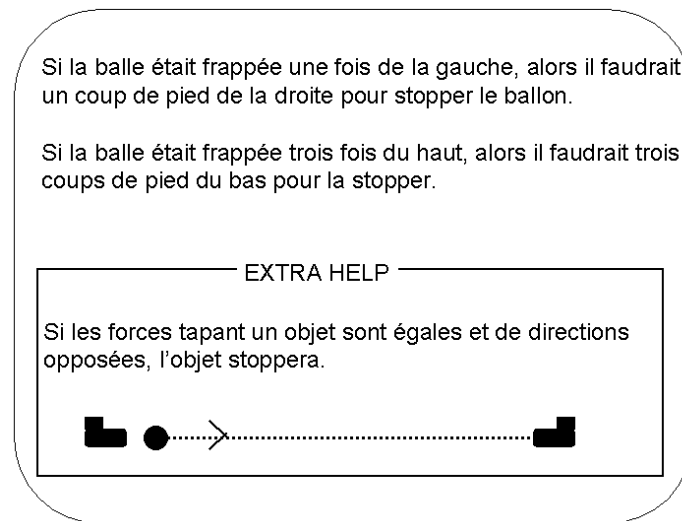


Figure 2. Exemple de diagramme statique extrait de la leçon de Rieber (1989) pour expliquer les lois de Newton sur le mouvement.

Bien que Large et ses collègues, de même que Rieber, prétendent que leurs résultats supportent l'utilisation de graphiques animés, le manque d'équivalence en terme d'informations transmises entre les conditions statiques et animées remet en cause cette conclusion. Au premier abord, dans la plupart des études comparant graphiques statiques et animés, les deux conditions paraissent comparables. Mais à mieux y regarder, les graphiques animés présentent les détails des sous-étapes entre les étapes, c'est-à-dire les actions spatio-temporelles élémentaires des composants. Ces détails souvent essentiels ne sont pas inclus dans les graphiques statiques. Les événements tels que ceux qui sont représentés dans les animations peuvent être segmentés en unités de granularité variées par les observateurs. Dans la plupart des cas, des unités grossières segmentent en objets ou en partie d'objets, et les unités fines segmentent selon des actions élémentaires sur les mêmes objets ou parties d'objets. La plupart des graphiques statiques représentent les unités grossières mais pas les unités fines, alors qu'une animation représente les deux niveaux. Il y a donc plus d'informations dans les animations que dans les graphiques statiques.

Dans une étude évaluant la capacité des étudiants à apprendre le fonctionnement et la réparation d'un circuit électronique à partir de graphiques statiques ou animés, [PAR 92] ont observé de meilleurs résultats dans la condition animée. Bien que les deux conditions graphiques, statiques et animées, présentaient les relations entre les composants du processus, seul le graphique animé montrait les sous-étapes. Plus précisément, quand une action était portée sur le circuit, l'animation montrait les activités élémentaires des composants. Le graphique statique montrait les relations spatiales entre les composants mais ne présentait pas la réponse du circuit à chaque action exercées sur ses composants et les changements consécutifs sur l'état du circuit.

De la même façon, la série de graphiques statiques utilisée par [LEE 97] pour présenter les étapes du fonctionnement d'une pompe à vélo n'incluait par la même

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

quantité d'information sur les sous-étapes que l'animation. Les graphiques statiques étaient quatre instantanés (Figure 3) avec des flèches décrivant la direction du mouvement et le mouvement de l'air dans la pompe. L'animation était une présentation continue du fonctionnement de la pompe procurant donc des informations de fine granularité, comme par exemple la succession exacte des événements entre la traction du piston et l'ouverture de la valve.

Figure 3. Les huit étapes du fonctionnement d'une pompe à vélo. Ces huit schémas ont été utilisés par [LEE 97] pour présenter le fonctionnement de la pompe, en comparaison à une présentation continue de ce fonctionnement.

Une recherche de [THO 90] supporte également l'hypothèse selon laquelle l'animation facilite l'apprentissage quand elle représente les micro-étapes d'un processus, ce qu'un graphique statique ne peut pas représenter. Leur leçon enseignait le théorème de Pythagore à des collégiens. Cette leçon utilisait des translations et des rotations pour montrer l'équivalence de superficie entre trois figures différentes. Un premier groupe reçut un matériel à base de graphiques statiques sur papier (Figure 4) ; un second groupe étudiait une animation découpée en étapes discrètes correspondant aux étapes montrées sur papier ; enfin un troisième groupe étudiait une animation continue des différentes étapes. Seul le troisième groupe obtint de meilleurs résultats que les deux autres. Les auteurs avaient explicitement précisé que l'information sur les graphiques statiques était strictement équivalente à l'animation discrète, mais pas à l'animation continue qui présentait toutes les micro-étapes alors que celles-ci devaient être inférées des deux autres types de matériels.

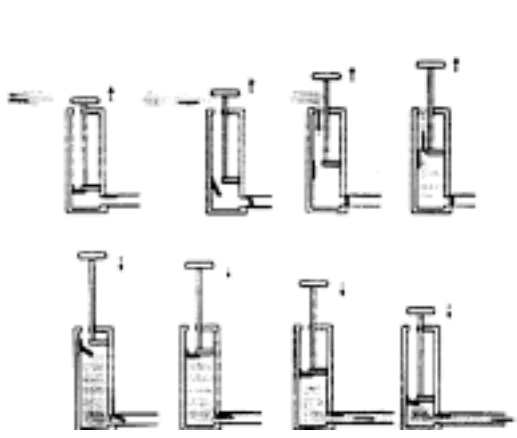
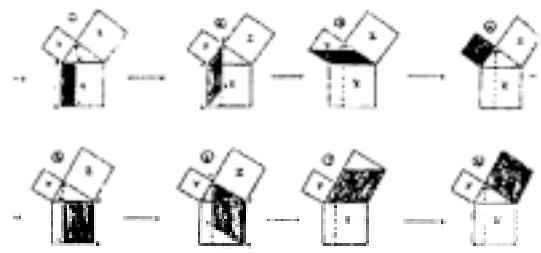


Figure 4. Graphiques statiques utilisés par [THO 90]

Le manque d'équivalence entre des graphiques statiques et animés n'est pas la seule source de difficulté dans l'évaluation des bénéfices potentiels de l'animation. Dans d'autres études, ce sont les procédures qui ne sont pas équivalentes. [KIE 92] a comparé l'effet de graphiques statiques et animés sur la capacité des utilisateurs à comprendre les opérations d'un système énergétique fictif, le « panneau de contrôle de Star Trek ». Les utilisateurs étudiaient le modèle conceptuel du

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

système soit sous forme de texte, soit sous forme de graphique statique, soit sous forme de graphique animé. Les utilisateurs qui ont étudié l'animation ont obtenu de meilleures performances pour faire démarrer le système et pour diagnostiquer les pannes par rapport aux autres utilisateurs. Cependant, les utilisateurs pouvaient utiliser les graphiques statiques et animés au moment de la phase de test. Cette tâche demandait donc aux utilisateurs de savoir extraire la bonne information au bon moment plutôt que d'avoir construit une représentation du système à partir des documents qu'ils auraient utilisés pour résoudre les problèmes. On peut donc juste déduire de cette étude que l'animation a facilité l'exécution de la tâche, mais pas forcément la compréhension du système.

Ainsi, à y regarder de près, la plupart des applications réussies de l'animation apparaissent en fait liées à une meilleure visualisation des informations dans l'animation que dans les graphiques statiques correspondants, ou bien à d'autres facteurs qui rendent les différents matériels non équivalents du point de vue de la quantité d'informations transmises. Lorsque l'animation se montre plus efficace qu'une instruction statique, c'est donc dû à l'information supplémentaire qu'elle transmet, plutôt qu'à la mise en mouvement de cette information. L'animation est parfois interactive. L'interactivité augmente souvent les performances, car elle permet à l'utilisateur d'évaluer le résultat de son action, mais cet effet ne doit pas être confondu avec celui de l'animation [FER 95]. Enfin, les animations sont perçues comme attractives et motivantes, ce qui pourraient être une raison suffisante de les préférer aux graphiques statiques. Par exemple, [RIE 91a] a observé que les élèves reconsultaient spontanément des instructions animées après la classe, ce que faisaient rarement les élèves dans d'autres conditions. Cependant, les animations sont souvent plus longues et plus coûteuses à étudier. En outre, les animations ne sont pas préférées par tous les utilisateurs, et souvent, elles ne sont pas utilisées (par exemple [PAN 96]).

3. *Comment les animations sont-elles perçues et conceptualisées ?*

Ainsi, nombreuses sont les études qui ne sont pas parvenues à montrer que l'animation était bénéfique, même lorsqu'il s'agissait de représenter un changement dans le temps, un concept qui semble correspondre parfaitement aux animations. Ce résultat est surprenant, voire décevant, et incite à se pencher plus précisément sur le traitement cognitif d'une animation. Les défaillances de l'animation ne sont peut-être pas liés à un problème de correspondance cognitive entre le matériel conceptuel et la situation visuelle, mais plutôt aux limitations perceptives et cognitives dans le traitement d'une situation visuelle changeante.

3.1. *Perception du mouvement et de l'animation*

Des générations de peintures dans les musées et galeries du monde entier ont représenté les pattes d'un cheval au galop de façon incorrecte. Avant l'apparition de la photographie, l'interaction complexes du mouvement des pattes des chevaux apparaissaient tout simplement trop rapidement pour pouvoir être appréhendée correctement. Même lorsque le mouvement est simplement la trajectoire d'un seul objet et non l'interaction complexe de plusieurs parties en mouvement, la perception

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

du mouvement peut être incorrecte. Lorsqu'on demande à un individu de dessiner la trajectoire d'un pendule, ou d'un objet propulsé ou jeté d'un objet en mouvement, son dessin est souvent incorrect, que l'individu soit expert ou novice en physique [FRE 94] [KAI 92]. Les dessins semblent davantage guidés par des règles perceptives de type Gestalt que par des lois physiques [CAR 81] [McC 83]. La trajectoire des objets en mouvement, par exemple, est perçue plus proche de l'axe horizontal ou vertical que ce qu'elles sont réellement [PANI 96]. Pour certains types de mouvement (objet jeté d'un avion, balle sortant d'un tube en forme de spirale...), les utilisateurs sont capables de sélectionner l'animation représentant la trajectoire correcte, mais, après un délai, ils restent toujours incapables de reproduire cette trajectoire correctement [KAI 92].

3.2. Compréhension des animations

Même quand le mouvement réel est continu, il peut être conceptualisé sous forme d'étapes discrètes [HEG 92] mais pas toujours [SCH 96] [SCH 99]. Si ce mouvement est conçu sous formes d'étapes discrètes et non comme continu, alors le moyen le plus naturel de le communiquer serait de représenter ces étapes sous forme d'une série de graphiques statiques, plutôt que sous forme d'animation continue. C'est assez fréquent dans les instructions graphiques de systèmes complexes, comme dans le cas de tâche de montage d'objet ou de dépannage de machine. Chaque étape est alors dessinée dans un cadre distinct, les cadres étant disposés dans l'ordre des étapes. Pour des mouvements simples, comme la circulation de l'électricité dans un circuit, un unique graphique peut représenter la trajectoire au moyen de lignes et de flèches. Outre le fait qu'ils correspondent à la façon dont les individus conceptualisent le mouvement, ces graphiques statiques ont un autre avantage : ils permettent facilement la comparaison entre états, et la réinspection des actions et états précédents. Au contraire, les animations sont fugaces, et lorsqu'elles peuvent être réinspectées, elles doivent être étudiées en mouvement, où il peut être difficile de percevoir tous les changements élémentaires simultanément.

4. Conclusion et recommandations pour la conception d'animations efficaces

A présent, les études qui n'ont pas trouvé de différences entre animations et graphiques statiques ne sont plus surprenantes. Dans les rares cas où les animations produisaient un bénéfice, elles n'étaient en fait pas équivalentes aux graphiques statiques. Dans les cas les plus contrôlés, les animations introduisaient des informations sur les micro-étapes. Il est possible que ce type d'information soit plus accessible à partir d'une animation que d'un diagramme statique, et ce pourrait être une raison suffisante pour les utiliser. Cependant, dans beaucoup d'autres cas l'animation s'est avérée d'efficacité identique, ou même moins efficace, qu'un graphique statique, à cause de sa difficulté à être perçue, et parce qu'elle ne correspondait pas à la conception spontanée du mouvement, qui est plutôt en termes d'étapes discrètes que continue. Pour guider les concepteurs de documents hypermédia, Hegarty et ses collègues [HEG 99] ont proposé un modèle de conception d'animations pour expliquer le fonctionnement de systèmes dynamiques qui prend en compte les opérations cognitives engagées par l'utilisateur pour comprendre le système. Ces auteurs montrent que les animations conçus en

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

respectant ce modèle peuvent être plus efficaces que des textes et graphiques statiques.

Dans la mesure où les animations sont coûteuses à produire pour le concepteur et coûteuse à traiter pour l'utilisateur, un principe préliminaire serait de n'utiliser les animations que lorsqu'elles sont pertinentes, c'est-à-dire lorsque le phénomène à communiquer induit une notion de changement dans le temps. A partir de cette analyse, nous pouvons suggérer deux principes pour la conception d'animations qui, si elles ne sont pas plus efficaces que des graphiques statiques, ne le seront pas moins.

* *Principe d'appréhension* : une animation doit être facile à percevoir et à comprendre. En d'autres termes, il faut préférer un graphisme épuré, où seuls les éléments pertinents pour la compréhension du phénomène sont représentés. Un graphisme réaliste, en 3D, peut apparaître plus motivant pour l'utilisateur au premier abord, mais il sera difficile à traiter et donc rapidement abandonné.

* *Principe d'expression* : l'animation doit rendre apparent le modèle conceptuel sous-jacent au phénomène. Ainsi, si l'expert du domaine représente ce modèle sous forme d'étapes discrètes, il faudra plutôt choisir une série de graphiques statiques. Si les micro-étapes entre les étapes du processus sont ambiguës ou difficile à reproduire, alors l'animation devrait être plus pertinente. En tout état de cause, le concepteur peut toujours proposer les deux types de visualisation, animations et graphiques statiques, dans la mesure où chacune supporte des processus cognitifs différents : en particulier, réinspection et comparaison pour le graphique statique, traitement analytique des micro-étapes et transitions pour l'animation.

Sur un dispositif utilisé couramment, il y a donc peu de recherches systématiques, beaucoup de résultats semblant contradictoires. En fait, nombre de ces recherches ont été menées sur des étudiants en dehors de leur cursus scolaire ou universitaire, et ceux-ci n'étaient pas forcément motivés par l'apprentissage de notions complexes et peu reliés à leurs connaissances. Sur ce champ-là, des recherches plus « situées », dans le cadre de situations de formation initiale ou professionnelle, mais conservant un contrôle de l'équivalence des conditions d'apprentissage, sont à poursuivre.

Références

[BAE 88] BAEK Y. K., LAYNE B. H., "Color, graphics, and animation in a computer-assisted learning tutorial lesson.", *Journal of Computer-Based Instruction*, Vol. 15, 1988, p. 131-135.

[CAR 81] CARAMAZZA A., MCCLOSKEY M., GREEN B., "Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects.", *Cognition*, Vol. 9, 1981, p. 117-123.

[CAR 91] CARSWELL C., FRANKENBERGER S., BERNHARD D., "Graphing in depth: Perspectives on the use of threedimensional graphs to represent lower-dimensional data.", *Behaviour and Information Technology*, 10, 1991, p. 459-474.

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

- [CHA 98] CHANLIN L.-J., "Animation to teach students of different knowledge levels.", *Journal of Instructional Psychology*, Vol. 25, 1998, p. 166-175.
- [DEF 89] DEFRANCIS. J., *Visible speech: The diverse oneness of writing systems.*, Honolulu: University of Hawaii Press, 1989.
- [DEN 96] DENIS M., "Imagery and the description of spatial configurations." In M. De Vega, M.J. Intons-Peterson, P.N. Johnson-Laird, M. Denis & M. Marschark, *Models of visuo-spatial cognition* New York: Oxford University press, 1996, p. 128 - 197.
- [DWY 78] DWYER F. M., *Strategies for improving visual learning.*, State College, PA: Learning Services, 1978.
- [DYC 95] DYCK, J. L. (1995). "Problem solving by novice Macintosh users: The effects of animated, self-paced written, and no instruction.", *Journal of Educational Computing Research*, Vol. 12, 1995, p. 29-49.
- [FER 95] FERGUSON E. L., HEGARTY M., "Learning with real machines or diagrams: Application of knowledge to realworld problems.", *Cognition and Instruction*, Vol. 13, p. 129-160.
- [FRE 94] FREYD J. J., JONES K. T., "Representational momentum for a spiral path." *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 1994, p. 968-976.
- [GAT 96] GATTIS M., HOLYOAK K. J., "Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning.", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 22, 1996, p. 1-9.
- [GEL 63] GELB I., *A study of writing* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press, 1963.
- [HAR 95] HARRISON S. M., "A comparison of still, animated, or nonillustrated on-line help with written or spoken instructions in a graphical user interface." In I. R. Katz, R. Mack, L. Marks, M. B. Rosson, & J. Nielsen (Eds.), *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems.*, Denver, CO: ACM, 1995, p. 82-89.
- [HEG 92] HEGARTY M., "Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems.", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 18, 1992, p.1084-1102.
- [HEG 99] HEGARTY M., QUILICI J., NARAYANAN N. H., HOLMQUIST S. MORENO R., "Multimedia Instruction: Lessons from Evaluation of a Theory-based Design.", *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, Vol. 2, n° 8, p. 119-150.
- [KAI 92] KAISER M. K., PROFFITT D. R., WHELAN S. M., HECHT H., "Influence of animation on dynamical judgments.", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 18, p. 669-690.

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

- [KIE 92] KIERAS D. E., "Diagrammatic displays for engineered systems: Effects on human performance in interacting with malfunctioning systems.", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 36, pp. 861-895.
- [LAR 96] LARGE A., BEHESHTI J., BREULEUX A., RENAUD A., "The effect of animation in enhancing descriptive and procedural texts in a multimedia learning environment.", *Journal of the American Society for Information Science*, Vol. 47, p. 437-448.
- [LAR 87] LARKIN J. H., SIMON H. A., "Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words." *Cognitive Science*, Vol. 11, 1987, p. 65-99.
- [LEE 97] LEE S., "The effects of computer animation and cognitive style on the understanding and retention of scientific explanation.", Unpublished manuscript, Virginia Polytechnic Institute and State University at Blacksburg, 1997.
- [LEV 82] LEVIE W. H., LENTZ R., "Effects of text illustrations: A review of research.", *Educational Communication and Technology Journal*, Vol. 30, 1982, p. 195-232.
- [LEV 93] LEVIN J. R., MAYER R. E., "Understanding illustrations in text." In B. K. Britton, A. Woodward, and M. Binkley (Eds.), *Learning from Textbooks: Theory and Practice* (pp. 95-119). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1993.
- [LEV 96] LEVY E., ZACKS J., TVERSKY B., SCHIANO D., "Gratuitous graphics: Putting preferences in perspective.", *Human factors in computing systems: Conference proceedings.*, New York: ACM, 1996, p. 42-49.
- [MAN 89] MANDL A., LEVIN J., *Knowledge acquisition from text and pictures.* Amsterdam: NorthHolland, 1989.
- [MAY 89] MAYER R. E., « Models for understanding. », *Review of Educational Research*, Vol. 59, n°1 , p. 43-64.
- [MCC 83] MCCLOSKEY M., "Naive theories of motion.", In D. Gentner and A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.
- [PAL 93] PALMITER S., ELKERTON J., "Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks.", *Human-Computer Interaction*, Vol. 8, 1993, p. 193-216.
- [PAL 91] PALMITER S. L., ELKERTON J., BAGGETT P., "Animated demonstrations vs. written instructions for learning procedural tasks: A preliminary investigation.", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 34, 1991, p. 687-701.
- [PAN 96] PANE J. F., CORBETT A. T., JOHN B. E., "Assessing dynamics in computer-based instruction.", In M. J. Tauber (Ed.), *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems.*, Vancouver: ACM, 1996, p. 797-804.
- [PANI 96] PANI J. R., JEFFRES J. A., SHIPPEY G. T., SCHWARTZ K. T., "Imagining

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

projective transformations: Aligned orientations in spatial organization.”, *Cognitive Psychology*, Vol. 31, 1996, p. 125-167.

[PAR 92] PARK O.C., GITTELMAN S. S., “Selective use of animation and feedback in computer-based instruction.”, *Educational Technology, Research, and Development*, Vol. 40, 1992, p. 27-38.

[PAY 92] PAYNE S. J., CHESWORTH L., HILL E., “Animated demonstrations for exploratory learners.”, *Interacting with Computers*, Vol. 4, n°1, p. 3-22.

[PEE 93] PEEK J., “Increasing picture effects in learning from illustrated text.”, *Learning and Instruction*, Vol. 3, 1993, p. 227-238

[PEL 00] PELLEGRIN A., *Traitement cognitif des représentations graphiques synoptiques*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000

[RIE 89] RIEBER L. P., “The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson.”, *Journal of Educational Computing Research*, Vol. 5, 1989, p. 431-444.

[RIE 90] RIEBER L. P., “Using computer animated graphics with science instruction with children.”, *Journal of Educational Psychology*, Vol. 82, 1990, p. 135-140.

[RIE 91a] RIEBER L. P., “Animation, incidental learning, and continuing motivation.”, *Journal of Educational Psychology*, Vol. 83, 1991, p. 318-328.

[RIE 91b] RIEBER L. P., “Effects of visual grouping strategies of computer-animated presentations on selective attention in science.”, *Educational Technology, Research, and Development*, Vol. 39, 1991, p. 5-15.

[RIE 90b] RIEBER L. P., BOYCE M. J., ASSAD C., “The effects of computer animation on adult learning and retrieval tasks.”, *Journal of Computer-Based Instruction*, Vol. 17, 1990, p. 46-52.

[RIE 88] RIEBER L. P., HANNAFIN M.J., “Effects of textual and animated orienting activities and practice on learning from computer-based instruction.”, *Computers in the Schools*, Vol. 5, 1988, p. 77-89.

[SCH 94] SCHNOTZ W., KULHAVY R. W., *Comprehension of graphics*. Amsterdam: Elsevier, 1994.

[SCH 99] SCHWARTZ D. L., “Physical imagery: Kinematic vs. dynamic models.”, *Cognitive Psychology*, Vol. 38, 1999, p. 433-464.

[SCH 96] SCHWARTZ D. L., BLACK, J. B., “Analog imagery in mental model reasoning: Depictive models.”, *Cognitive Psychology*, Vol. 30, 1996, p. 154-219.

[THO 90] THOMPSON S. V., RIDING R. J., “The effect of animated diagrams on the understanding of a mathematical demonstration in 11- to 14-year-old pupils.”, *British Journal of Educational Psychology*, Vol. 60, 1990, p. 93-98.

Revue d'intelligence artificielle, 14 (1-2), 149-166.

- [TOL 87] TOLCHINSKY LANDSMANN L., LEVIN I., "Writing in four- to six-year-olds: Representation of semantic and phonetic similarities and differences.", *Journal of Child Language*, Vol. 14, 1987, p. 127-144.
- [TUF 83] TUFTE E. R., *The visual display of quantitative information.*, Cheshire, CT: Graphics Press, 1983.
- [TVE 95] TVERSKY B., "Cognitive origins of conventions.", In F. T. Marchese (Ed.), *Understanding images*, New York: Springer-Verlag, 1995, p. 29-53.
- [TVE in press] TVERSKY B., "Spatial schemas in depictions.", In M. Gattis (Ed.), *Spatial schemas and abstract thought.*, Cambridge: MIT Press, sous presse.
- [TVE 91] TVERSKY B., KUGELMASS S. WINTER A., "Crosscultural and developmental trends in graphic productions.", *Cognitive Psychology*, Vol. 23, 1991, p. 515-557.
- [WIN 89] WINN W., "The design and use of instructional graphics.", In H. Mandl & J. R. Levin (Eds.), *Knowledge Acquisition from Text and Pictures.*, Amsterdam: North Holland, 1989, p. 125-144.
- [YAT 69] YATES F. A., *The art of memory*. New York: Penguin, 1969.
- [ZAC 98] ZACKS J., LEVY E., TVERSKY B., SCHIANO D. J., "Reading bar graphs: Effects of depth cues and graphical context.", *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 4, 1998, p. 119-138.