



Article original

## Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents illustrés

### The effects of the spatial integration of pop-up windows on the understanding of illustrated texts

E. Jamet \*, S. Erhel

*Centre de Recherche en Psychologie, Cognition et Communication (E.A. 1285), université de Haute-Bretagne  
(Rennes-II), place du recteur-Henri-le-Moal, 35043 Rennes cedex, France*

Reçu le 11 septembre 2005 ; accepté le 3 décembre 2005

---

#### Résumé

Le format de présentation des informations dans un document électronique influence de manière non négligeable la mémorisation et la compréhension des informations. Ainsi, le procédé consistant à intégrer spatialement des éléments d'un texte dans une illustration permet d'améliorer les performances par rapport à un format conventionnel (appelé également format texte–illustration séparé). Dans cette étude, les effets de l'intégration sur la compréhension sont évalués en utilisant des fenêtres ponctuelles intégrées sur l'illustration ou placées dans la marge. Cette comparaison permet de tester l'hypothèse selon laquelle l'effet de l'intégration est dû à la facilitation de la mise en référence du texte et des éléments correspondant de l'illustration au cours de l'apprentissage. Les résultats laissent apparaître une amélioration des performances uniquement pour une épreuve impliquant des processus de coréférenciation texte–illustration et pour le temps de consultation du document.

© 2006 Société française de psychologie. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

#### Abstract

The format in which the information in an electronic document is presented has a non-negligible impact on the memorization and understanding of documents. Thus, the spatial integration of the elements

---

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [eric.jamet@uhb.fr](mailto:eric.jamet@uhb.fr) (E. Jamet).

in a text within an illustration makes it possible to improve performances compared to a conventional format (in which the text and the illustration are separate). In this study, the effects of integration on understanding are evaluated by using pop-up windows integrated in the illustration or located at its edge. This comparison makes it possible to test the hypothesis that the effect of integration is due to the fact that it is easier to establish a reference between the text and the elements corresponding to the illustration during learning. The results reveal an improvement in performance only on a task involving text–illustration co-referencing and for the period when the document was being viewed.

© 2006 Société française de psychologie. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

*Mots clés* : Intégration spatiale ; Fenêtres ponctuelles ; Apprentissage multimédia

*Keywords*: Spatial integration; Pop-up windows; Multimedia learning

---

## 1. Introduction

Les études liées à la compréhension de textes illustrés sont désormais relativement nombreuses. Ce type de travaux, où sont généralement comparées les performances d'apprentissage à partir de documents accompagnés ou non d'illustrations, a évolué en même temps que les modèles théoriques de la compréhension à partir des années 1980. Plus récemment, d'autres évolutions ont été, cette fois, guidées par la technologie. L'utilisation de documents électroniques permet en effet de proposer de nouvelles formes d'illustrations dont les effets en termes cognitifs sont encore mal connus (Jamet, 2002). Dans cette étude, on s'intéressera spécifiquement aux effets sur l'apprentissage de l'intégration spatiale du texte et de l'illustration sous forme de fenêtres ponctuelles (*pop-up*) ouvertes à la demande de l'utilisateur dans le document.

### 1.1. Le traitement cognitif des textes illustrés

Les premières études réalisées sur la mémorisation de textes illustrés ont permis de démontrer l'effet positif de la présence d'illustrations sur le rappel des éléments du texte. La revue de questions de Levie et Lentz (1982) souligne la nette supériorité des textes illustrés en termes de mémorisation. Dans cette synthèse, 46 études comparant le rappel de textes narratifs illustrés ou non sont analysées. Trente-neuf de ces 46 études mettent en évidence une supériorité du rappel des éléments illustrés du texte vis-à-vis d'une situation où le texte est présenté seul.

Une série de travaux plus récents s'appuie sur les modèles cognitifs de la compréhension de texte. Deux modèles théoriques proches coexistent aujourd'hui dans la littérature. Le premier est celui de Kintsch (1978, 1998), le second celui de Johnson-Laird (1983). Si les deux conceptions théoriques sont proches, elles ne sont pas tout à fait identiques (Erhlich et Tardieu, 1993). Néanmoins, ces différences n'ont que peu d'importance dans le contexte théorique qui nous intéresse. Le premier type de représentation élaborée au cours de la compréhension est une représentation de surface du texte. Le second niveau est constitué de schémas propositionnels composés à partir de l'information du texte. Cette élaboration de la base de texte serait automatique et utiliserait une structure syntaxique arbitraire ainsi que le lexique du langage naturel. Le dernier niveau est une représentation du contenu du texte où sont intégrées les informations explicites du texte et les connaissances antérieures du lecteur (auditeur). Elle est nommée modèle mental (Johnson-laird, 1983) ou modèle de situation (Van Dijk et Kintsch, 1983).

L'élaboration est, cette fois, optionnelle et serait réalisée en mémoire de travail, ou plus exactement dans des mémoires de travail spécifiques (Friedman et Miyake, 2000). Le modèle mental a pour particularité d'être à la fois la source et le produit des inférences réalisées sur le document.

Plus récemment, un modèle spécifique de la compréhension des documents illustrés a été proposé par Schnotz et al., (1999). Dans cette perspective située dans la lignée des modèles de Kintsch ou de Johnson-Laird, le traitement d'un document illustré se réalise dans deux voies, une voie symbolique destinée au traitement du texte et une voie analogique permettant, entre autres, le traitement de l'illustration. Dans la voie symbolique, le traitement d'un texte permet d'aboutir successivement à une représentation de surface, une représentation propositionnelle. Enfin, des traitements ultérieurs permettent l'élaboration d'une représentation analogique, le modèle mental.

Dans la voie analogique, le traitement d'une illustration va permettre l'élaboration d'une représentation visuelle de cette dernière. Ces informations sont ensuite intégrées au modèle mental. La structure analogique du modèle mental le rend proche de ce point de vue de l'illustration (Schnotz, 2001 ; Schnotz et al., 1999). Il peut donc paraître logique de tester les apports spécifiques de l'illustration à l'élaboration de ce modèle en évaluant par exemple ses contributions au niveau du raisonnement inférentiel. Ces apports ont été démontrés expérimentalement pour des documents procéduraux (Glenberg et Langston, 1992) ou pédagogiques (Gyselinck et Tardieu, 1999).

Bien que non inspirés explicitement de ces modèles théoriques, les travaux de l'équipe de Mayer ont contribué à renforcer l'idée d'une contribution de l'illustration à l'instanciation du modèle mental. Mayer et Gallini, (1990) proposent ainsi d'évaluer les effets des illustrations explicatives sur l'apprentissage de trois documents. En se fondant sur les travaux de Levin et al., (1987), les auteurs démontrent que des illustrations explicatives améliorent non seulement les scores de rappel mais aussi ceux d'un test de problème de transfert de connaissances à une situation nouvelle.

Néanmoins, le traitement d'un document illustré exerce des contraintes fortes sur le système cognitif du lecteur. La multiplicité des sources (textuelles et imagées) impose des allers et retours constants pendant la lecture. Ces allers-retours sont mis en évidence par l'enregistrement des mouvements oculaires (Hegarty et al., 1990). Les études utilisant ces techniques d'enregistrement des mouvements oculaires démontrent qu'un mouvement oculaire vers le schéma est effectué en moyenne après la lecture de trois à quatre propositions du texte. Le nombre de ces mouvements oculaires est proportionnel aux aptitudes visuospatiales du sujet.

L'intégration mentale des deux sources d'informations est une condition nécessaire à la construction du modèle mental. Paradoxalement, cette intégration exige des ressources importantes car elle nécessite des interruptions de la lecture, des inspections du schéma ainsi que des mises en relation des éléments textuels et illustrés. Ces contraintes du format de présentation « texte-illustration » sur la mémoire de travail ont fait l'objet de nombreuses expérimentations par l'équipe de John Sweller en Australie.

## *1.2. Intégration spatiale texte-illustration*

Ces études ont été réalisées dans le cadre théorique général de la « théorie de la charge cognitive ». Dans cette perspective, la gestion cognitive d'un texte illustré (ou de tout autre document contenant des sources d'informations visuelles mutuellement référencées) est sus-

ceptible d'entraîner un effet de partage de l'attention. Cet effet peut créer une situation de surcharge en mémoire de travail, notamment pour des tâches complexes ou pour des utilisateurs novices. (Sweller, 1999, pour une revue). Deux types de solutions à ce problème ont été proposés par Sweller et ses collaborateurs à partir d'une série d'études sur l'apprentissage de documents illustrés.

La première consiste à utiliser des modalités variées de présentation (Tindall-Ford, et al., 1997). Si le phénomène de partage de l'attention est présent lorsque plusieurs sources visuelles sont traitées, celui-ci peut être éliminé en utilisant plusieurs modalités de présentation. Autrement dit, la présentation de certaines informations textuelles en modalité auditive permettrait une meilleure gestion des ressources attentionnelles dans les deux systèmes esclaves de la mémoire de travail, la boucle phonologique et le calepin visuospatial (Baddeley, 1986). Il est nécessaire de souligner que l'interprétation en termes de « charge cognitive » est pour le moins générale et que cette hypothèse explicative n'intègre pas à l'heure actuelle les distinctions proposées par Wickens (1984) en termes de ressources spécifiques aux modalités utilisées (visuelle, auditive) ou aux types de processus cognitifs engagés par leur traitement (spatial ou verbal). Cette hypothèse, nommée dans la littérature « effet de modalité », est soutenue par de nombreux résultats expérimentaux (Ginns, 2005 pour une revue). Ainsi, l'utilisation conjointe d'un schéma électrique complexe et de commentaires présentés en modalité auditive s'avère plus efficace que lorsque ces mêmes commentaires sont présentés à l'écrit (Tindall-Ford, et al., 1997). Des résultats similaires sont par exemple obtenus dans une situation de résolution de problèmes géométriques (Mousavi, et al., 1995).

La seconde possibilité consiste à réduire l'effet de partage de l'attention en intégrant physiquement les différentes sources d'informations visuelles (Mayer, 2001 ; Sweller, 1999). L'intégration spatiale consiste à présenter les différentes sources d'informations d'un document, une illustration et du texte par exemple, en les positionnant de telle sorte que l'on évite un effet de partage de l'attention entre ces sources (Jamet, 2000 pour une revue). Pour ce faire, les éléments du texte sont intégrés directement sur les parties correspondantes du schéma. Les effets bénéfiques de cette manipulation ont été démontrés dans des domaines variés.

En 1990, Sweller et al, 1990 démontrent que des exercices de géométrie sont résolus plus rapidement si, au moment de l'apprentissage, les solutions sont intégrées à la figure géométrique plutôt que présentées séparément. Cet effet apparaît aussi dans des situations où le matériel est constitué de schémas électriques ou anatomiques (Chandler et Sweller, 1991), ou bien encore s'il s'agit d'un document sur le système perceptif humain (Jamet, 2000). Cette dernière étude avait pour objectif d'étudier les effets de l'intégration spatiale sur les différentes représentations élaborées pendant la compréhension d'un texte illustré. Si l'on se situe dans le cadre du modèle de Johnson-Laird, 1983, le modèle mental se distingue de la représentation propositionnelle par une élaboration sous contrôle attentionnel. C'est ce type d'élaboration sur la base de processus contrôlés qui devrait être compromis si le format de présentation utilisé entraîne un effet de partage de l'attention. Les résultats que nous observons sont conformes à cette hypothèse : l'intégration spatiale permet tout d'abord un apprentissage plus rapide du document. De plus, elle exerce un rôle facilitateur sur la résolution d'inférences alors qu'elle n'influence pas directement le niveau de réponse à des questions de type paraphrase.

Ces travaux sont proches de ceux réalisés dans un autre domaine autour du principe de compatibilité-proximité (Wickens et Carswell, 1995). Dans sa forme la plus simple, ce principe propose que si des informations issues de deux affichages sont utilisées dans une seule tâche (tâche d'attention divisée), ces affichages doivent être proches physiquement, voire

superposés. En revanche, si les informations d'un seul affichage sont utilisées (tâche d'attention focalisée), les différents affichages doivent être séparés.

Les avantages et inconvénients de ce type d'intégration sont recensés par Kroft et Wickens (2002) dans le cadre de leurs travaux sur les cartes géographiques électroniques présentées aux pilotes d'avion dans les cockpits. Il est en effet possible dans ce contexte d'intégrer ou non sur la carte des informations relatives aux conditions météorologiques et au trafic aérien.

Tout d'abord, en terme d'inconvénients, l'affichage créé peut être relativement surchargé du point de vue perceptif, posant ainsi des problèmes d'usages notamment dans des conditions inhabituelles de vols, en cas d'urgence par exemple. En terme d'avantages, la réduction du nombre de sources visuelles dans un cockpit permet d'augmenter la zone d'affichage et la résolution de la source restante. Enfin, l'intégration mentale de sources d'informations sera facilitée si les sources sont superposées, par exemple, si un pilote doit décider s'il risque de rencontrer une zone de mauvais temps en voulant contourner une zone de trafic trop élevé. Si ces informations sont séparées, le pilote doit scanner visuellement les différents affichages puis les superposer mentalement pour en extraire les informations utiles. Dans une version intégrée, le temps de scannage est réduit et la superposition est déjà fournie par l'affichage. Il n'en demeure pas moins qu'une information trop dense peut augmenter le coût de l'encombrement en version intégrée et dans certains cas annuler les effets bénéfiques de l'augmentation de la taille et du scannage réduit. Dans cette étude (Kroft et Wickens, 2002), des pilotes répondent à des questions portant sur une ou plusieurs sources dans des formats séparés ou intégrés. Les résultats montrent que les formats intégrés sont plus efficaces malgré leur densité informative, mais aussi que ces effets sont plus importants pour des questions nécessitant l'intégration mentale de plusieurs sources d'information. Par ailleurs, une partie de cette étude est consacrée aux moyens de réduire la surcharge perceptive de l'interface intégrée en effectuant des changements de luminance de certaines informations, ou en les faisant disparaître suite à une action du pilote. Les effets de ces méthodes sont peu probants, à l'exception de bénéfices de la disparition apparaissant pour les tâches d'attentions focalisées (i.e. portant sur une seule source d'information).

Bien que réalisés dans un domaine différent, ces travaux apportent un éclairage intéressant aux études sur les documents pédagogiques. En effet, les conclusions sont globalement très proches sur les effets positifs attendus de l'intégration spatiale mais ils soulignent aussi ses inconvénients liés à la surcharge perceptive. Parmi les solutions envisageables pour les documents pédagogiques, l'usage de fenêtres ponctuelles peut s'avérer être une perspective intéressante dans la problématique développée ici.

### *1.3. Les effets des fenêtres ponctuelles*

Les fenêtres ponctuelles ou escamots (Caro et Bisseret, 1997) se présentent sous la forme de zones actives (mots, symboles) sur lesquelles l'utilisateur clique pour faire apparaître une fenêtre ponctuelle. Peu d'études permettent à l'heure actuelle de rendre compte de l'influence de ces fenêtres ponctuelles (*pop-up*) sur le traitement cognitif des documents électroniques. En s'intéressant de plus près à ces études, il est tout de même possible de distinguer deux grands axes de recherche.

Le premier axe s'intéresse aux fenêtres escamotables en tant qu'indice de mise en forme ou organisateur paralinguistique. Les études sont, dans ce cas, focalisées sur l'accès à des infor-

mations verbales complémentaires à des textes via des fenêtres ponctuelles (Bétrancourt et Caro, 1998 ; Caro et Bisseret, 1997 ; Stark, 1990).

Le second axe, qui sera développé ici, s'attache à étudier les effets sur l'apprentissage de fenêtres ponctuelles intégrées à des illustrations. En effet, l'intégration spatiale classique des informations textuelles et imagées peut très vite révéler ses limites dans les documents où la quantité de texte à intégrer est trop importante. En conséquence, un nombre élevé d'éléments textuels nécessitant d'être intégré à une illustration augmente le risque de surcharge perceptive à l'écran.

Pour résoudre ce problème, Bétrancourt et Bisseret (1998) proposent un nouveau mode d'intégration des informations sous forme de fenêtres ponctuelles. Afin de tester les effets de ce nouveau format de présentation des informations sur les performances en matière d'apprentissage, ils proposent à des sujets de lire un document expliquant le fonctionnement d'un conduit de fumées. Ce document est présenté selon trois formats : un format *conventionnel* où les explications et l'illustration sont présentées séparément, un format *intégré* où les explications sont intégrées à l'intérieur du schéma et enfin, un format *escamots*, où les explications sont intégrées au schéma à l'aide de fenêtres ponctuelles.

Les résultats montrent que lors d'une phase d'acquisition constituée d'un apprentissage et d'un rappel sous forme de croquis, les sujets du format *escamots* rappellent plus de paires texte-graphique que les sujets du format *conventionnel*. En phase test, les auteurs observent que les sujets du format *escamots* et ceux du format *intégré* ont des temps équivalents d'apprentissage. En revanche, ces deux groupes sont plus rapides lors d'une épreuve de rappel indicé que les sujets du format *conventionnel*.

La seconde étude de l'article de Bétrancourt et Bisseret (1998) évalue les effets de ce format sur des problèmes de transfert de connaissances. Pour cela, ils proposent à des sujets de lire un document portant sur l'acquisition d'une procédure permettant de lire les schémas de type abaque (graphiques à lecture directe qui facilite les calculs numériques). Dans la première partie de l'expérience, les sujets devaient étudier deux graphiques commentés puis réaliser quatre exercices. La réussite à ces exercices conditionnait le passage à la phase test de l'expérience. Cette phase se décomposait en deux problèmes, un problème inverse où les sujets devaient retrouver un énoncé à partir d'un exercice résolu et un problème de transfert où les sujets devaient transférer la procédure qui venait d'être acquise à un autre type de problème. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'effet du format de présentation sur les performances en phase d'acquisition. De même, les performances au problème inverse ne diffèrent pas de façon significative en fonction du format. Cependant, les sujets des groupes *escamots* et *intégré* obtiennent des performances supérieures au problème de transfert, comparées aux sujets du groupe *conventionnel*.

Les études présentées précédemment nous permettent de conclure que le format *escamots* permet d'améliorer les performances en matière de mémorisation et de transfert de connaissances comparé au format *conventionnel*. En revanche, rien ne permet de conclure à une supériorité du format *escamots* sur le format *texte intégré à l'illustration*.

Les différentes recherches présentées ici nous permettent de conclure que l'utilisation des fenêtres ponctuelles peut, dans des situations précises, améliorer les performances des sujets. Pour Caro et Bétrancourt (2000), cette supériorité s'expliquerait par quatre caractéristiques des escamots. La première caractéristique des fenêtres escamotables est d'instaurer une hiérarchie de traitement en rendant les informations principales permanentes et les informations secondaires ponctuelles. Cette hiérarchisation des informations permet de faciliter le traitement

des documents et facilite la recherche d'informations. La deuxième caractéristique des escamots est de permettre une consultation à la demande. À titre d'exemple, des experts seraient « moins contraints » de traiter toutes les informations et pourraient se focaliser sur celles qu'ils maîtrisent le moins. La troisième caractéristique des escamots est de diminuer la surcharge perceptive occasionnée par une trop grande quantité d'informations à l'écran. Cette diminution du nombre d'informations présentées simultanément améliore le traitement des informations en coréférence. Enfin, la quatrième caractéristique des fenêtres escamotables est de permettre la disparition de l'effet de partage de l'attention entre deux sources d'informations ou deux niveaux d'informations. Ainsi, la restauration de la coréférence permise par ce dispositif facilite l'intégration cognitive des informations et donc diminue la quantité de ressources attentionnelles nécessaires à l'apprentissage.

De nombreuses hypothèses ont donc été avancées pour expliquer les effets des fenêtres ponctuelles sur l'apprentissage. Nous pensons que la manipulation précise du type de variable dépendante et la neutralisation de certains facteurs explicatifs nous permettront de mieux comprendre la nature des effets observés.

Dans cette étude, nous comparerons donc les effets de fenêtres ponctuelles placées sur le schéma (i.e. intégrées) ou dans la marge (i.e. séparées) sur l'apprentissage à partir des documents pédagogiques illustrés. Ce choix est justifié pour plusieurs raisons :

- dans les comparaisons classiques « texte intégré–texte séparé–fenêtres ponctuelles », plusieurs hypothèses confondues peuvent expliquer l'effet des fenêtres ponctuelles : facilitation de la coréférenciation, mais aussi interactivité du document « *pop-up* », réduction de la surcharge perceptive, hiérarchisation de l'information ou mise en saillance du schéma. Notre choix de comparer des fenêtres ponctuelles intégrées ou non nous permet de tester les hypothèses de coréférenciation en neutralisant ces variables confondues (interactivité du document *pop-up*, réduction de la surcharge perceptive, hiérarchisation de l'information);
- si l'intégration spatiale des fenêtres ponctuelles permet de faciliter la coréférenciation, des effets doivent être observés uniquement pour des épreuves ciblées sur ce type de processus. Autrement dit, des épreuves ciblées uniquement sur le texte (paraphrases) ou sur le schéma (replacer les légendes) ne doivent pas voir leurs performances améliorées par l'intégration<sup>1</sup> ;
- en revanche, les performances à des épreuves impliquant une coréférenciation explicite (situer une description textuelle d'un élément sur le schéma) ou implicite (résoudre une question d'inférence) doivent être influencées positivement par l'intégration ;
- de même, le temps d'apprentissage du document doit être influencé par les difficultés supplémentaires de traitements occasionnées par la restauration de la coréférence entre les éléments textuels et illustrés dans la version séparée ;
- parallèlement, l'utilisation de ce type de fenêtre en version intégrée ou séparée permet l'enregistrement de traces informatiques telles que le temps d'ouverture des fenêtres ou le nombre d'ouvertures. Ce type d'indice nous permettra d'obtenir en temps réel le comportement des sujets. On peut notamment s'attendre à des temps d'ouverture des fenêtres plus longs en condition séparée, augmentation qui correspondrait à la restauration de la référence entre le texte et la partie correspondante de l'illustration.

<sup>1</sup> Ce choix de variable dépendante est par ailleurs justifié par l'utilisation d'un matériel identique dans une autre étude en cours pour tester l'hypothèse de hiérarchisation. L'effet est dans ce cas attendu spécifiquement sur les paraphrases.

## 2. Expérience

### 2.1. Méthode

#### 2.1.1. Sujets

Quarante étudiants âgés de 18 à 25 ans ont participé à cette expérience. Ils étaient tous inscrits en première et en deuxième année de Deug de sciences et techniques appliquées aux pratiques sportives à l'université de Haute-Bretagne de Saint-Brieuc (22). Lors de leur cursus universitaire, ces étudiants n'ont reçu aucun cours sur les thèmes que nous allons aborder avec eux.

#### 2.1.2. Matériel

Le matériel expérimental se compose de deux documents pédagogiques ayant pour thèmes le fonctionnement de l'œil et celui de l'oreille. Chaque document est présenté dans une interface électronique selon deux formats : un format *pop up intégrés* reliant des éléments textuels à une illustration à l'aide de fenêtres escamotables et un format *pop up en marge* présentant les éléments textuels à l'aide d'escamots disposés dans une marge à droite de l'illustration. Le texte est évidemment strictement identique dans les deux conditions. Ces interfaces ont été développées sous Macromedia Director 8.5<sup>®</sup> (Fig. 1).

#### 2.1.3. Procédure

L'expérience se déroule dans une salle informatique équipée de cloisons permettant d'isoler les participants. Chaque participant est placé face à un ordinateur équipé d'un écran 17 pouces et d'une souris. Avant de débiter l'expérience, les sujets sont affectés aléatoirement dans un des deux groupes expérimentaux. Afin de s'assurer de l'homogénéité de notre population, nous leur avons demandé de remplir une fiche d'informations comportant des questions sur leur âge, sexe et baccalauréat obtenu. Dès que cette fiche est remplie, les participants débutent la passation qui se déroule en trois phases :

- dans la première phase de l'expérience, les participants sont soumis à un prétest permettant d'évaluer l'état de leurs connaissances préalables sur les deux thèmes que nous allons aborder ;
- dans la deuxième phase de l'expérience, les participants doivent consulter un document pédagogique présenté avec une interface électronique. La première page de cette interface comporte une consigne les informant des contraintes temporelles de l'expérience et de l'évaluation qui va être menée à la fin de l'apprentissage. Cette première page comporte également un test « pop-up » permettant aux participants de se familiariser avec la manipulation des fenêtres ponctuelles. Après avoir lu attentivement la consigne, les sujets commencent la phase d'apprentissage. La durée de la consultation du document est limitée à 10 minutes. Ce temps a été choisi suite à une préétude où il a été démontré que très peu d'individus utilisaient un temps d'apprentissage supérieur à cette durée pour ces documents. Les sujets ont la possibilité de quitter l'interface d'apprentissage avant la fin du temps imparti lorsqu'ils pensent connaître suffisamment le document ;
- la troisième phase de l'expérience débute lorsque les sujets quittent la phase d'apprentissage. À l'issue de la consultation, une nouvelle page apparaît avec une consigne indiquant



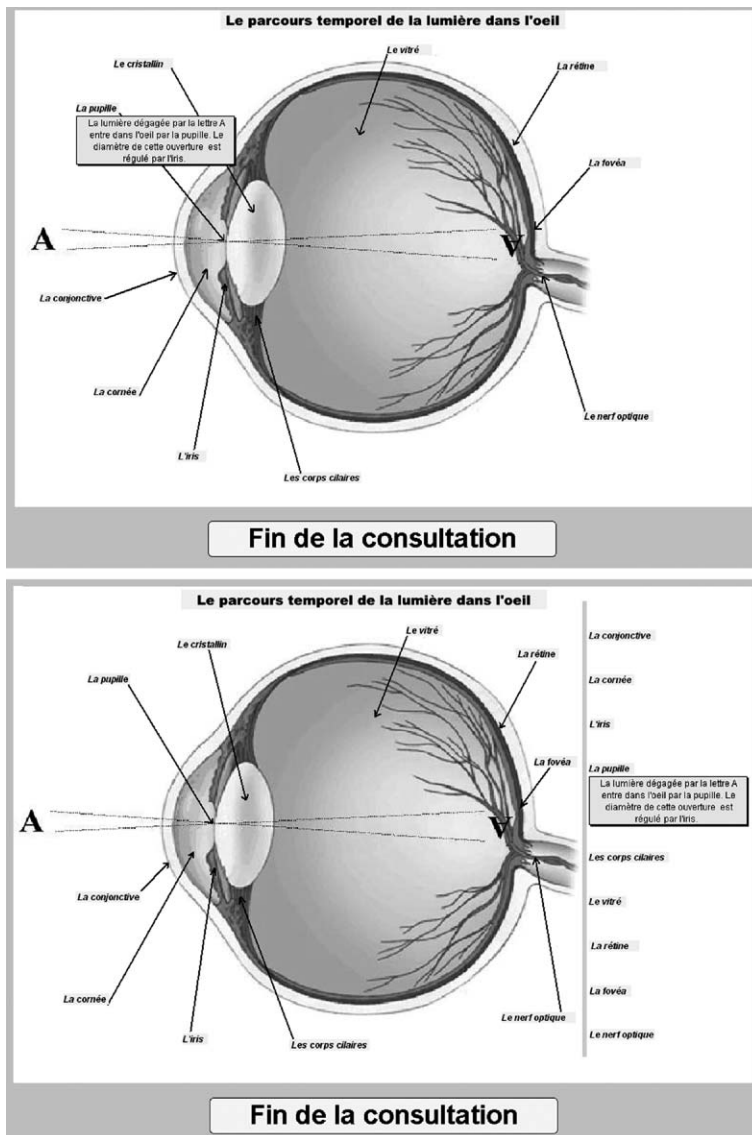


Fig. 1. Version intégrée (en haut) et séparée (en bas) du document sur la vision.

aux sujets de commencer à répondre aux questionnaires. Le premier questionnaire comporte des questions de type paraphrase évaluant la mémorisation des informations verbales du document (exemple : *Quel élément détermine la quantité de lumière à entrer dans l'œil ?*). Le second questionnaire est composé de questions de type inférence caractérisées par l'absence de réponse explicite dans le document et donc, par la nécessité d'élaborer des processus inférentiels pour répondre. (Exemple : *lorsque le cristallin ne projette pas efficacement*

*l'image sur la rétine, quel élément est en cause ?*) La troisième évaluation est composée d'un schéma à légender où les sujets doivent placer des noms d'éléments sur un schéma vide. La quatrième évaluation est une épreuve de *paraphrase texte-illustration* où les sujets doivent replacer des descriptions écrites d'éléments sur une illustration vierge (par exemple : « entourer l'organe qui sert à transmettre l'information au cortex visuel »).

Dès que les sujets ont terminé le questionnaire, l'expérimentateur leur propose le deuxième document. La même procédure d'évaluation est réalisée après ce nouvel apprentissage. L'ordre de passation des documents est contrebalancé afin d'éviter d'éventuels effets de série. Ces deux documents sont proches thématiquement, comportent une quantité d'information textuelle similaire (nombre de mots et de *pop-up*), une composante temporelle forte (traitement successif d'une information sensorielle) et des références multiples, dans le texte, aux éléments de l'illustration. Nous n'attendons donc pas d'effet différencié des formats de présentation en fonction de ces documents et ils n'apparaîtront pas en tant que facteur expérimental.

## 2.2. Résultats

### 2.2.1. Épreuve de connaissances préalables

Concernant l'épreuve de connaissances préalables, les scores moyens sont respectivement de 1,05 (ET = 0,88) pour le groupe intégré et 1,02 (ET = 1,04) pour le groupe séparé. L'analyse de variance effectuée sur ces scores ne révèle aucune différence significative ( $F < 1$ ).

### 2.2.2. Questionnaires

Les scores aux différents questionnaires en fonction du format sont présentés dans le Tableau 1. L'analyse d'homocédasticité des variances réalisées par l'intermédiaire du test de Levene ne révèle aucun problème d'homogénéité pour les scores aux questionnaires relatifs aux paraphrases ( $F(1,38) = 2,47$  ;  $p = 0,12$ ), aux inférences ( $F(1,38) = 2,13$  ;  $p = 0,15$ ), aux légendes de schémas ( $F < 1$ ), et aux paraphrases texte-schémas ( $F < 1$ ).

Pour les trois premières variables dépendantes (paraphrases, inférences, légendes schéma), les analyses de variance n'indiquent aucun effet du format ( $F < 1$ ).

En revanche, cet effet est mis en évidence pour l'épreuve d'intégration texte-schéma, ( $F(1,38) = 8,04$ ,  $MSe = 2,61$ ,  $p = 0,007$ ,  $\eta^2 = 0,175$ ). Les scores du groupe intégré ( $M = 3,6$ ) sont supérieurs à ceux du groupe séparés ( $M = 2,15$ ). Cette épreuve, qui selon nous, implique une association en mémoire des éléments du schéma à leur description verbale (coréférenciation) est donc très clairement facilitée par l'intégration spatiale.

Tableau 1

Moyennes et écarts types des réponses aux questionnaires en fonction du format

	Groupe « séparé »	Groupe « intégré »
Paraphrases/10	4,22 (3,8)	4,2 (2,67)
Inférences/10	4,45 (3,25)	4,97 (2,29)
Légende schéma/20	14, 4(4,76)	14,9 (4,38)
Paraphrases texte schéma/6	2,15 (1,46)	3,6 (1,76)

### 2.2.3. Temps total de consultation du document

Les temps moyens de consultation sont de 340 secondes dans la version intégrée et de 481 secondes dans la version séparée, ce qui correspond à une augmentation de plus de 40 %.

Le choix réalisé au moment de la conception du document rend particulièrement délicate l'analyse de ces temps d'apprentissage. En effet, les sujets ont la possibilité de clore leur session d'apprentissage quand ils le souhaitent mais ce temps est aussi limité par le logiciel à dix minutes. Cet événement s'est produit 12 fois sur 80 consultations (dont 11 en version séparée). Dans ce cas, le temps est fixé à 600 secondes. Il est donc délicat de réaliser une analyse de variance sur des données biaisées par cette possibilité. Un des moyens de contourner partiellement cette difficulté est de catégoriser les temps de consultation (inférieur ou égal à 200, 400 et 600 secondes) et d'évaluer le nombre d'individus dans ces intervalles. La méthode contraint cependant à traiter séparément les deux documents puisqu'un individu peut ne pas être dans le même intervalle pour chacun d'entre eux.

L'analyse révèle que pour les deux documents, la quasi-totalité des sujets est classée dans l'intervalle de temps le plus long pour la version séparée (voir Tableau 2), ce qui n'est pas le cas dans la version intégrée ( $\chi^2(2, n = 40) = 20,6, p < 0,0001$  pour le document sur l'œil et  $\chi^2(2, n = 40) = 7,6, p = 0,022$  pour le document sur l'oreille). Nous observons donc clairement un « allongement » des temps de consultation dans la version séparée, ce qui témoigne selon nous des difficultés de coréférenciation des éléments textuels et illustrés du document. Il convient de noter que les mouvements liés à la manipulation de la souris ne peuvent être à l'origine de ces différences. En effet, la distance à parcourir entre les fenêtres ponctuelles est plus élevée dans la version intégrée — où elles sont réparties — que dans la version séparée (voir figure 1).

### 2.2.4. Temps et nombres d'ouvertures des fenêtres

L'enregistrement des ouvertures de fenêtres ponctuelles en cours d'apprentissage peut permettre de fournir quelques indices relatifs à l'utilisation des fenêtres au cours de l'étude. L'analyse de variance réalisée sur les nombres de fenêtres ouvertes au cours de l'interaction ( $F(1,38) = 1,72, p = 0,19, \eta^2 = 0,04$ ) ne permet pas de conclure à une différence entre le groupe séparé ( $M = 52,5, ET = 18,8$ ) et le groupe intégré ( $M = 45,2, ET = 16,5$ ). Concernant le temps moyen d'ouverture de chaque fenêtre, il est respectivement de 10,7 secondes dans le groupe intégré et de 12,6 secondes dans le groupe séparé. Cette différence n'atteint pas le seuil de significativité fixé ( $F(1,38) = 2,8, p = 0,10, \eta^2 = 0,07$ ).

Contrairement à nos attentes, nous n'avons pu mettre en évidence de différence concernant les usages des fenêtres ponctuelles. Il faut néanmoins reconnaître que ces variables dépendantes ne sont que des indices très grossiers du comportement. Le fait qu'une fenêtre ponctuelle soit ouverte n'implique absolument pas que le sujet soit en train de lire son contenu ou même de traiter le document. De même, la variabilité des temps d'ouverture (de quelques secondes à

Tableau 2

Effectifs en fonction de l'intervalle de temps de consultation et du format pour les deux documents

Intervalle de temps en secondes	Document œil		Document oreille	
	Intégré	Séparé	Intégré	Séparé
0–200	3	0	7	0
201–400	9	4	10	3
401–600	8	16	3	17

près d'une minute) ou du nombre de ces ouvertures (de 11 à 56 pour le document sur la vision par exemple) rend complexe toute interprétation générale des comportements.

### 3. Discussion

Les résultats obtenus sont en partie conformes à nos hypothèses. Comme nous l'attendions, aucun effet de l'intégration n'est mis en évidence pour les épreuves où la coréférenciation texte–illustration n'est pas impliquée (paraphrases du texte et les légendes du schéma).

Concernant l'épreuve « paraphrases texte–schéma », et conformément à nos hypothèses, un effet positif de l'intégration est montré. Ces résultats confortent les observations réalisées au cours des études sur les superpositions de cartes (Kroft et Wickens, 2002), sur l'intégration spatiale des éléments textuels aux éléments illustrés correspondants (Ayres et Sweller, 2005, pour une revue) mais aussi ceux portant sur les fenêtres ponctuelles (Bétrancourt et Bisseret, 1998). En revanche, le facteur intégration est isolé ici des autres variables explicatives généralement avancées (Caro et Bétrancourt, 2000). En effet, et contrairement aux études précédentes, des effets positifs de l'intégration spatiale apparaissent dans cette étude pour des formats équivalents du point de vue de leur surcharge perceptive, mais aussi de leur niveau d'interactivité.

De plus, les résultats obtenus ici sur le temps d'apprentissage du document corroborent clairement nos hypothèses de facilitation des traitements de coréférenciation texte–illustration alors que de telles mesures n'étaient pas présentes pour les études précédemment citées.

En revanche, il faut reconnaître que nos hypothèses ne sont que partiellement vérifiées puisqu'aucun effet n'est mis en évidence pour les questions de type inférence. Ces inférences se présentent sous la forme de questions permettant de tester la cohérence et la pertinence d'une représentation mentale intégrant à la fois les informations provenant du texte, celles provenant de l'illustration et les connaissances préalables du lecteur.

Des effets conformes à cette hypothèse avaient été démontrés pour des éléments textuels intégrés à une illustration avec un matériel proche mais non identique (Jamet, 2000) et, de plus, sans utiliser de fenêtres ponctuelles puisque le texte étant présent continuellement sur l'illustration. Il apparaît très délicat d'expliquer cette absence d'effet en l'absence d'études complémentaires. On peut néanmoins avancer plusieurs hypothèses. La première est que l'effet observé pour les inférences dans l'étude précédente était lié à un des facteurs neutralisés ici (surcharge perceptive ou interactivité par exemple).

La seconde hypothèse est liée à l'usage de compensations possibles au cours de l'apprentissage. En effet, si des difficultés, par exemple pour corréferencer le texte et l'illustration, sont rencontrées au cours de la tâche, elles peuvent être en partie compensées par un temps d'apprentissage plus long. L'analyse des temps de traitement montre que leur distribution est clairement en faveur du format intégré. Cela témoigne selon nous des difficultés rencontrées dans le format séparé pour restaurer la corréférence entre texte et illustration (même si les temps d'ouverture des fenêtres ne viennent pas confirmer cette affirmation).

L'originalité de ces résultats se situe selon nous à deux niveaux. Tout d'abord, il est démontré ici que la prise en compte d'indices au cours de l'apprentissage (mesures on-line) peut être complémentaire des évaluations off-line des connaissances. En l'occurrence, dans cette étude, un bénéfice de l'intégration spatiale est montré pour un indice basique de temps d'apprentissage du document. Néanmoins, ce type de mesure s'avère a posteriori nécessaire mais non suffisante. Elle devra être complétée par d'autres mesures plus précises. En l'occurrence, une ana-

lyse systématique des parcours (ordre d'ouverture des fenêtres notamment) sera désormais réalisée dans nos études. En effet, la version séparée du document semble impliquer une lecture de haut en bas du texte, ce qui n'est pas le cas de la version intégrée du document pour laquelle les stratégies de consultation seront probablement plus orientées par l'image. Dans ce cas, l'ordre de consultation des fenêtres n'est pas nécessairement l'ordre des événements dans le document. Ce type de contrôle peut s'avérer primordial dans un document comportant une composante temporelle forte. Il faut donc reconnaître que ce problème a pu se produire pour nos documents où cette composante temporelle est présente. Cette question fait d'ores et déjà l'objet d'études complémentaires.

La seconde originalité de ces résultats repose sur le choix spécifique des interfaces. L'intégration spatiale des fenêtres est la seule et unique différence entre les deux formats utilisés, contrairement aux études précédentes, notamment celles de Bétrancourt et Bisseret (1998) où plusieurs variables explicatives pouvaient être évoquées. La présence d'un effet positif dans notre étude indique clairement qu'une partie des effets observés dans les travaux de Bétrancourt et Bisseret est liée à l'intégration spatiale. En revanche, notre étude ne nous permet pas de conclure à une absence d'effet des autres variables explicatives que nous avons abordé (surcharge perceptive, hiérarchisation ou interactivité). Elles peuvent hypothétiquement se cumuler à l'effet que nous observons et rien dans notre étude ne nous permet de les écarter. Des études complémentaires sont donc nécessaires pour trancher cette question.

## Remerciements

Les auteurs remercient Lucie Allory pour sa participation dans l'élaboration du matériel et le recueil des résultats.

## Références

- Ayres, P., Sweller, J., 2005. The split-attention principle in multimedia learning. In: Mayer, R.E. (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, New York, pp. 135–147.
- Baddeley, A., 1986. Working memory. Oxford University Press, Oxford.
- Bétrancourt, M., Bisseret, A., 1998. Integrating textual and pictorial information via pop up windows: an experimental study. *Behaviour and information technologies* 17 (5), 263–273.
- Bétrancourt, M., Caro, S., 1998. Intégrer des informations en escamots dans les textes techniques : quels effets sur les processus cognitifs ? In: Tricot, A., Rouet, J.F. (Eds.), *Hypertextes et Hypermédiâs, Concevoir et utiliser les hypermédiâs: approches cognitives et ergonomiques*. Hermès, Paris, pp. 157–173.
- Caro, S., Bisseret, A., 1997. Étude expérimentale de l'usage des organisateurs paralinguistiques de mise en retrait dans les documents électroniques. *Le Travail Humain* 60 (4), 1997.
- Caro, S., Bétrancourt, M., 2000. Ergonomie des documents numériques. In: *Traité Informatique. H7 220, Techniques pour l'Ingénieur (TPI)*, Paris.
- Chandler, P., Sweller, J., 1991. Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction* 8, 293–332.
- Ehrlich, M.-F., Tardieu, H., 1993. Modèles mentaux, modèles de situation et compréhension de textes. In: Ehrlich, M.-F., Tardieu, H., Cavazza, M. (Eds.), *Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations*. Masson, Paris, pp. 47–78.
- Friedman, N.P., Miyake, A., 2000. Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction. *Journal of Experimental Psychology: General* 129, 61–83.
- Giins, P., 2005. Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction* 4, 313–331.
- Glenberg, A.M., Langston, W.E., 1992. Comprehension of illustrated text : Pictures help to build mental models. *Journal Of Memory And Language* 31, 129–151.

- Gyselinck, V., Tardieu, H., 1999. The role of illustrations in text comprehension: what, when, for whom, and why? In: Goldman, S.R., Van Oostendorp, H. (Eds.), *The Construction of Mental Representations During Reading*. Lawrence Erlbaum Associates, N.J, pp. 195–218.
- Hegarty, M., Carpenter, P.A., Just, M.A., 1990. Diagrams in the comprehension of scientific text. In: Barr, R., Kamil, M.L., Mosenthal, P., Pearson, P.D. (Eds.), *Handbook of reading research*. Longman, New York.
- Jamet, E., 2000. L'intégration spatiale d'éléments textuels et illustratifs améliore-t-elle la performance ? *Revue d'intelligence artificielle : les interactions homme-système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques* 14, 167–188.
- Jamet, E., 2002. La conception de documents techniques peut-elle être améliorée par l'utilisation des nouvelles technologies ? *Psychologie française* 47 (1), 33–40.
- Johnson-Laird, P.N., 1983. *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kintsch, W., Van Dijk, T.A., 1978. Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review* 85, 363–394.
- Kintsch, W., 1998. *Comprehension: A Paradigm for Cognition*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- Kroft, P., Wickens, C.D., 2002. Displaying multi-domain graphical database information: An evaluation of scanning, clutter, display size, and user activity. *Information Design Journal* 11, 44–52.
- Levie, W.H., Lentz, R., 1982. Effects of text illustration: a review of research. *Educational Communication and Technology Journal* 30, 195–232.
- Levin, J.R., Anglin, G.J., Carney, R.C., 1987. On empirically validating functions of pictures in prose. In: Willows, D.M., Houghton, H.A. (Eds.), *The Psychology of Illustration, 1*. Springer, New York.
- Mayer, R.E., 2001. *Multimedia Learning*. University Press, Cambridge.
- Mayer, R.E., Gallini, J.K., 1990. When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology* 82, 715–726.
- Mousavi, S., Low, R., Sweller, J., 1995. Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology* 87 (2), 319–334.
- Stark, H.A., 1990. Pop up window and memory for text. In: Diaper, D., et al. (Eds.), *Human-Computer Interaction, INTERACT'90*. Elsevier Science Publishers B.V, North Holland.
- Schnotz, W., Böckheler, J., Grzondziel, H., 1999. Individual and cooperative learning with interactive and animated pictures. *European Journal of Psychology of Education* 2, 245–265.
- Schnotz, W., 2001. Sign systems, technologies, and the acquisition of knowledge. In: Rouet, J.-F., Levonen, J.J., Biardeau, A. (Eds.), *Multimedia learning: Cognitive and instructional issues*. Elsevier. Science., London, pp. 9–30.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., Cooper, M., 1990. Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology* 119, 176–192.
- Sweller, J., 1999. *Instructional Design in technical area*. Australian Education Review. N°43. ACER Press, Melbourne.
- Tindall-Ford, S., Chandler, P., Sweller, J., 1997. When two sensory modes are better than one. *Journal of Experimental Psychology* 3, 257–287.
- Van Dijk, T.A., Kintsch, W., 1983. *Strategies of discourse comprehension*. Academic Press, New York.
- Wickens, C.D., 1984. Processing resources in attention. In: Parasuraman, R., Davies, R. (Eds.), *Varieties of attention*. 63–102. Orlando, London.
- Wickens, C.D., Carswell, C.M., 1995. The proximity compatibility principle: Its psychological foundations and its relevance to display design. *Human Factors* 37, 473–494.