
Multimodalité et mémoire de travail

Véronique Dubois^{* **}, Valérie Gyselinck^{*}, Hugues Choplin^{}**

** Université R. Descartes - Laboratoire de Psychologie Expérimentale UMR 8581-CNRS -EPHE - Centre Universitaire de Boulogne, 71, avenue Edouard Vaillant - 92774 Boulogne Billancourt Cedex*

*** Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications - Département Innovation Pédagogique - 46, rue Barrault - 75013 Paris
dubois@psycho.univ-paris5.fr, vdubois@enst.fr*

RÉSUMÉ : Nous étudions la mobilisation de la mémoire de travail visuo-spatiale et verbale au cours de la mémorisation et de la compréhension d'informations multimédia. Les résultats, concordants avec ceux d'une étude précédente, indiquent que des apprenants experts sont peu sensibles au mode sensoriel dans lequel les informations linguistiques sont présentées dans une séquence multimédia pédagogique. En outre, l'utilisation du paradigme de double-tâche suggère que la compréhension des informations multimédia mobilise spécifiquement la mémoire de travail verbale mais pas la mémoire de travail visuo-spatiale. En revanche, la mémorisation des phrases et des diagrammes présents dans les séquences multimédia serait spécifiquement contrainte par les capacités limitées de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial, respectivement.

MOTS-CLÉS : multimédia, mémoire de travail, effet de modalité

1. Problématique

La multiplicité des types d'informations¹ et la multimodalité² semblent avoir assis la popularité des produits multimédia sans toutefois garantir leur efficacité pour des activités d'apprentissage. Les travaux sur l'apprentissage multimédia soulignent la complexité de l'activité de compréhension d'informations multimodales [MAYER 99, MORENO 99, SCHNOTZ 99]. Celle-ci met en jeu les capacités de la mémoire humaine, implique la sélection, l'organisation et l'intégration des informations pour aboutir à la formation de représentations mentales de différents types.

Parmi les « effets multimédia » les mieux étayés, l'effet de modalité consiste à observer que des apprenants novices ont de meilleurs résultats à des épreuves de mémorisation et de compréhension lorsque les textes sont présentés dans le mode auditif que lorsque qu'ils sont présentés dans le mode visuel. Cet effet est interprété en référence aux notions de mémoire de travail [BADDELEY 86] et de charge cognitive [POLLOCK 02, TINDALL-FORD 97]. La mémoire de travail est un système mnésique aux capacités limitées, responsable du traitement et du maintien des informations. Dans le modèle de Baddeley [BADDELEY 86], elle se décompose en un sous-système de contrôle du traitement des informations (le centre exécutif) et deux sous-systèmes spécialisés respectivement dans le stockage des informations verbales (la boucle phonologique) et des informations visuo-spatiales (le calepin visuo-spatial). La notion de charge cognitive correspond au coût mental qu'impose l'exécution d'une tâche sur le système cognitif humain [SWELLER 98]. La charge cognitive qu'impose l'apprentissage multimédia varierait principalement selon la quantité d'informations et le mode sensoriel dans lequel elles sont présentées. Dans ce cadre, présenter des textes dans le mode auditif et des diagrammes dans le mode visuel est supposé conditionner leur prise en charge par la boucle phonologique (maintien des textes) et le calepin visuo-spatial (maintien des images), respectivement. Alors qu'au contraire, la présentation de ces différentes informations dans le même mode (visuel) aurait pour conséquence de surcharger le calepin visuo-spatial de la mémoire de travail. Celui-ci ne pouvant pas assurer le maintien efficace à la fois des informations linguistiques et iconiques, il en découlerait de moins bonnes performances de compréhension.

Nos travaux visent à dépasser le stade simple de l'interprétation de l'effet de modalité en apportant des éléments en faveur de l'implication des sous-systèmes de la mémoire de travail, telle que conçue par Baddeley [BADDELEY 86], dans la compréhension d'informations multimédia. Pour ce faire, nous utilisons le paradigme expérimental de double-tâche. Il consiste à donner deux tâches à réaliser aux sujets : une tâche principale et une tâche concurrente. Le raisonnement est que si ces tâches mobilisent un même sous-système de mémoire de travail, elles entreront

¹ Textes, images, sons et vidéo.

² Recours à un ou plusieurs modes sensoriels (visuel et/ou auditif).

en compétition au niveau de ses capacités limitées et les performances à l'une et/ou l'autre des deux tâches chuteront. A l'aide de ce paradigme, nous avons montré dans de premières recherches que la compréhension de textes illustrés, portant sur des notions de physique-chimie, par des apprenants novices, est spécifiquement contrainte par les capacités limitées de la mémoire de travail visuo-spatiale [GYSELINCK 99, 00, 02]. Une autre expérience menée auprès d'apprenants experts, nous a permis de révéler que la compréhension de séquences multimédia ayant pour thème l'électronique analogique et numérique met en jeu les capacités limitées de la boucle phonologique mais ne semble pas mobiliser celles du calepin visuo-spatial. Cette expérience suggère en outre que des apprenants experts sont peu sensibles au mode sensoriel dans lequel les informations linguistiques sont présentées [DUBOIS 01]. L'objectif de la présente expérience est de compléter ces résultats en étudiant la mise en jeu des composantes visuo-spatiale et verbale de la mémoire de travail dans la compréhension mais également dans le maintien en mémoire d'informations multimédia.

2. Méthode

2.1 Sujets

Cinquante six élèves-ingénieurs de première et deuxième année à Télécom Paris, à l'ENST Bretagne, à l'ENSP de Strasbourg ou à l'IUT de Cachan ont participé à l'expérience. La passation, individuelle, durait trois heures (deux sessions d'une et deux heures espacées d'au moins une journée).

2.2 Matériel

Séquences multimédia : le Centre de Ressources en Innovation Pédagogique et Technologies du Groupe des Ecoles des Télécommunications développe une Collection Pédagogique Hypermédia³ pour des élèves-ingénieurs en télécommunications. Six séquences ont été extraites du cédérom intitulé « l'Electronique en Questions » afin de constituer le matériel de l'expérience. D'une durée de lecture comprise entre cinq et dix minutes, ces séquences portent sur les thèmes des circuits intégrés, des microprocesseurs, des machines à états ou des inverseurs. Dans leur format original, elles combinent des informations non redondantes : des diagrammes (statiques ou animés), des informations linguistiques visuelles (blocs de texte) ou auditives (indications verbales visant à attirer l'attention des élèves sur des points centraux de l'exposé). A partir de ce format original, deux formats multimédia ont été développés. Dans un format, les textes et indications sont présentés auditivement (AA). Dans l'autre, les textes sont présentés visuellement et les indications auditivement (format VA, semblable au format original). Dans les deux formats les diagrammes sont rendus statiques, les temps de présentation des textes sont identiques, ainsi que les temps de présentation des diagrammes. La

³ Voir le site <http://www.en-questions.net/>

possibilité d'intervenir sur le rythme de présentation des informations n'est pas laissée aux sujets.

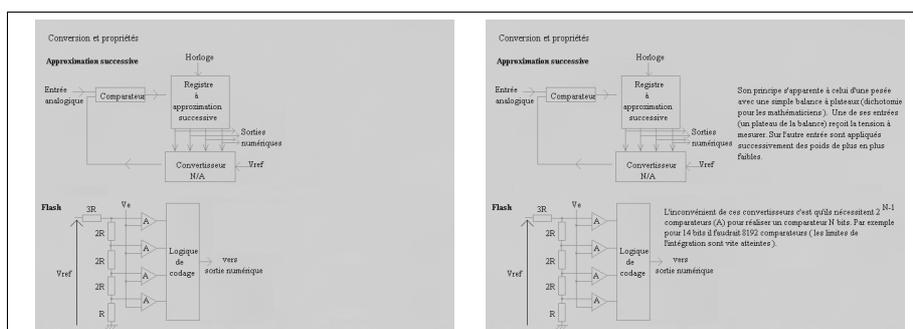


Figure 1. Exemple d'écran développé selon les deux formats multimédia (AA et VA)

Questions de mémorisation : afin d'évaluer le maintien en mémoire des informations contenues dans les séquences multimédia, une épreuve de reconnaissance a été mise au point. Elle se compose pour moitié d'items qui reposent sur la reconnaissance d'un diagramme et d'items mettant en jeu la reconnaissance d'une phrase. Quatre items de chaque type ont été construits pour chaque séquence.

Questions de compréhension : dans le but d'évaluer la compréhension des informations présentées dans chaque séquence, deux types de questions ont été conçus. Des questions « Texte » ont été construites à partir de la paraphrase d'une ou plusieurs phrases extraites d'un bloc de texte⁴ (quatre questions de ce type par séquence). Des questions « Intégration » mettant en jeu à la fois des phrases extraites des blocs de texte et des diagrammes ont été élaborées. Pour y répondre le sujet doit résoudre un problème, élaborer une inférence (quatre exemplaires de ce type par séquence). Pour chaque question, trois choix de réponse ont été construits. A la réponse exacte ont été associés deux distracteurs (choix de réponse plausible).

2.3 Pré-test de connaissances, mesure des empan mnésiques et MPFB

Au début de l'expérience, le sujet a été invité à répondre à un pré-test de connaissances. Ce pré-test a été construit en sélectionnant, pour chaque séquence, deux questions « Texte » et deux questions « Intégration ». Une fois complété sur ordinateur, l'empan verbal (empan de chiffres) et l'empan spatial (Corsi blocs)

⁴ Les phrases mises en jeu dans ces questions sont extraites de blocs de texte différents de ceux utilisés pour l'épreuve de reconnaissance de phrases.

étaient mesurés. Enfin, on demandait à chaque sujet de compléter un test d'imagerie/rotation mentale (Minnesota Paper Form Board test, MPFB).

2.4 Présentation des séquences multimédia

La tâche principale donnée au sujet consistait à visionner chaque séquence multimédia dans le but de la mémoriser et de la comprendre. Vingt huit sujets ont vu les séquences dans le format AA (textes présentés dans le mode auditif) et vingt huit autres dans le format VA (textes présentés visuellement). Les séquences étaient présentées dans un ordre tiré au hasard. Parmi les six, deux étaient visionnées sans tâche concurrente (condition contrôle), deux autres avec une tâche concurrente spatiale (mobilisation du calepin visuo-spatial) et les deux restantes avec une tâche concurrente verbale (mobilisation de la boucle phonologique). La tâche concurrente spatiale dite de « tapping » consistait à taper répétitivement et selon un ordre précis sur quatre boutons disposés sur un boîtier. La tâche concurrente verbale consistait à prononcer répétitivement et dans l'ordre les syllabes « ba, be, bi, bo, bu » à haute voix. L'ordre des tâches concurrentes a été contrebalancé parmi les sujets.

2.5 Epreuves de reconnaissance et questions de compréhension

A la fin de la présentation de chaque séquence multimédia, les sujets réalisaient d'abord l'épreuve de reconnaissance. L'ordre de présentation des huit items était tiré au hasard. A chaque diagramme ou phrase correctement reconnu(e) a été attribué un point. Ensuite, les huit questions de compréhension étaient présentées au sujet. L'ordre était tiré au hasard. Un point était attribué par réponse correcte.

2.6 Hypothèses

Effet de modalité : si présenter les informations verbales et iconiques dans des modes sensoriels distincts (auditif pour les textes et visuel pour les images) facilite l'apprentissage multimédia, alors dans la condition contrôle on devrait observer de meilleures performances dans le format AA (où les textes sont présentés auditivement) que dans le format VA (où ils sont présentés visuellement).

Mise en jeu de la mémoire de travail : si la mémorisation et la compréhension d'informations multimédia sont contraintes par les capacités mnésiques limitées des apprenants, alors ces derniers devraient être globalement perturbés par la réalisation de tâches concurrentes (leurs performances devraient chuter quand ils réalisent une tâche pendant le visionnage de la séquence). Mais plus précisément, si la présentation des textes dans le mode auditif facilite le traitement cognitif d'informations multimédia alors les effets négatifs des tâches concurrentes devraient être moins marqués quand les textes et les diagrammes sont présentés dans des modes sensoriels distincts (format AA) que lorsqu'ils sont présentés dans le même mode (visuel, format VA).

3. Principaux résultats

3.1 *Empans verbal et spatial des sujets, scores au MPFB*

Le tableau 1 présente les scores moyens observés dans chaque groupe à l'empan verbal, spatial, au MPFB et au pré-test de connaissances. Une analyse statistique a indiqué que ces scores sont comparables.

	Empan verbal	Empan spatial	MPFB	Pré-test
AA	7,50 (1,49)	5,46 (0,83)	55,43 (7,49)	11,32 (2,14)
VA	7,70 (1,32)	5,50 (0,73)	54,68 (7,73)	11,00 (2,31)

Tableau 1. *Empans mnésiques moyens (spatial, verbal), scores moyens au MPFB et au pré-test de connaissances des sujets pour les deux formats multimédia (écarts-types entre parenthèses)*

3.2 *Performances de mémorisation*

La figure 2 présente les pourcentages moyens de reconnaissance correcte (diagramme et phrase) dans les trois conditions expérimentales (contrôle, concurrente spatiale et concurrente verbale) en fonction du format des séquences multimédia (AA ou VA). Ces données ont été soumises à une analyse de variance.

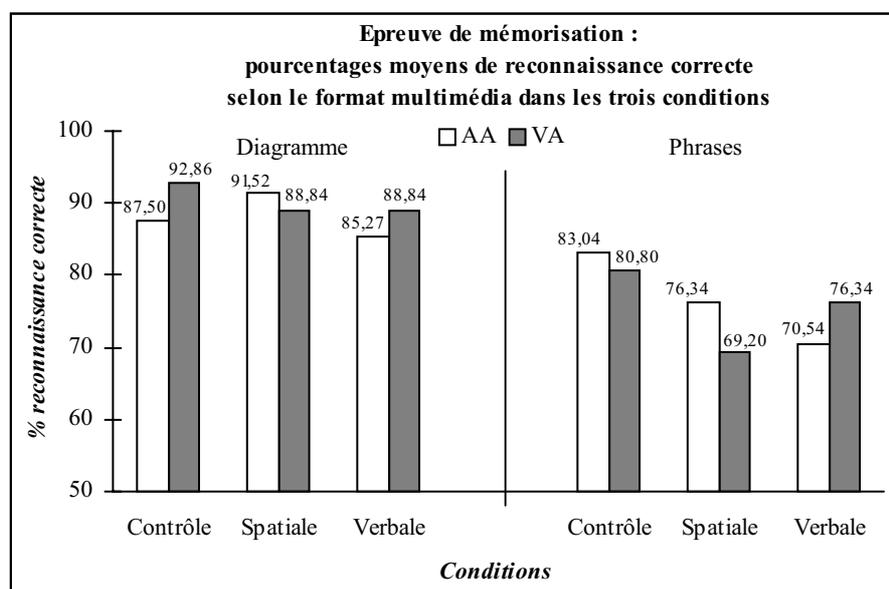


Figure 2. *Pourcentages moyens de reconnaissance correcte selon les conditions et le format des séquences*

Étudions dans un premier temps les résultats observés dans la condition contrôle. Les performances de reconnaissance ne varient pas selon le format multimédia : les pourcentages moyens sont équivalents dans les deux groupes (AA = 85,27 % ; VA = 86,83 % ; $F < 1$). On peut voir sur la figure 2 que les performances de reconnaissance de diagrammes sont supérieures (90,18 %) à celles des phrases (81,92 %). Cette différence est significative ($F(1,54) = 9,89$; $p < .005$). On note un effet plafond au niveau de la reconnaissance de diagrammes. Les performances de reconnaissance ne varient pas avec le format multimédia : dans la condition contrôle l'interaction entre ces deux facteurs n'est pas significative ($F(1,54) = 2,08$).

Considérons à présent les effets de la tâche concurrente spatiale. L'analyse statistique révèle que sa présence fait globalement chuter les performances de 86,05 % (dans la condition contrôle) à 81,47 %. L'effet est significatif ($F(1,54) = 5,59$; $p < 0.25$). L'examen statistique révèle que cet effet délétère ne varie pas selon le format multimédia ($F(1,54) = 2,79$). Toutefois l'examen de comparaisons spécifiques indique que la tâche de « tapping » fait significativement chuter les performances dans le format VA (de 86,83 % dans la condition contrôle à 79,02 %, $F(1,27) = 11,23$; $p < .0025$) mais pas dans le format AA ($F < 1$), ce qui est conforme à nos hypothèses. D'autre part, l'analyse statistique indique que l'effet néfaste de la tâche concurrente spatiale varie selon les items de l'épreuve de reconnaissance ($F(1,54) = 5,19$; $p < .05$). Contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, la tâche concurrente spatiale n'affecte pas les performances de reconnaissance de diagrammes ($F < 1$). Par contre, elle altère significativement la reconnaissance de phrases, comme on peut le constater sur la figure 2 ($F(1,54) = 7,21$; $p < .025$). Précisément, elle détériore la reconnaissance de phrases uniquement dans le format VA ($F(1,27) = 7,25$; $p < .025$), pas dans le format AA ($F(1,27) = 1,60$).

Examinons enfin les effets de la tâche concurrente verbale. Sa réalisation affecte globalement les performances de reconnaissance ($F(1,54) = 10,30$; $p < .0025$) : de 86,05 % dans la condition contrôle, elles chutent à 80,24 % quand les sujets répètent des syllabes à haute voix. L'analyse statistique indique que cet effet négatif ne varie pas selon le format multimédia ($F < 1$). Mais cependant, l'examen de comparaisons partielles révèle que dans le format AA la tâche concurrente verbale affecte significativement les performances ($F(1,27) = 6,64$; $p < .025$). Dans ce format, elles chutent de 85,27 % en condition contrôle à 77,90 % quand les sujets répètent les syllabes. En revanche, dans le format VA, les performances ne sont pas affectées par la tâche concurrente verbale ($F(1,27) = 3,69$). Enfin, bien que l'effet délétère de cette tâche ne varie pas avec les items de l'épreuve de reconnaissance ($F(1,54) = 2,51$), l'examen de comparaisons spécifiques indique que répéter les syllabes « ba, be, bi, bo, bu » fait significativement chuter les performances de reconnaissance de phrases (81,92 % en contrôle contre 73,44 %, $F(1,54) = 8,26$; $p < .025$) mais pas de diagrammes ($F(1,54) = 2,77$).

4.3 Performances de compréhension

La figure 3 présente les pourcentages moyens de réponses correctes aux questions de compréhension (Texte et Intégration) dans les trois conditions expérimentales (contrôle, concurrente spatiale et concurrente verbale) en fonction du format des séquences multimédia (AA ou VA). Ces données ont été soumises à une analyse de variance.

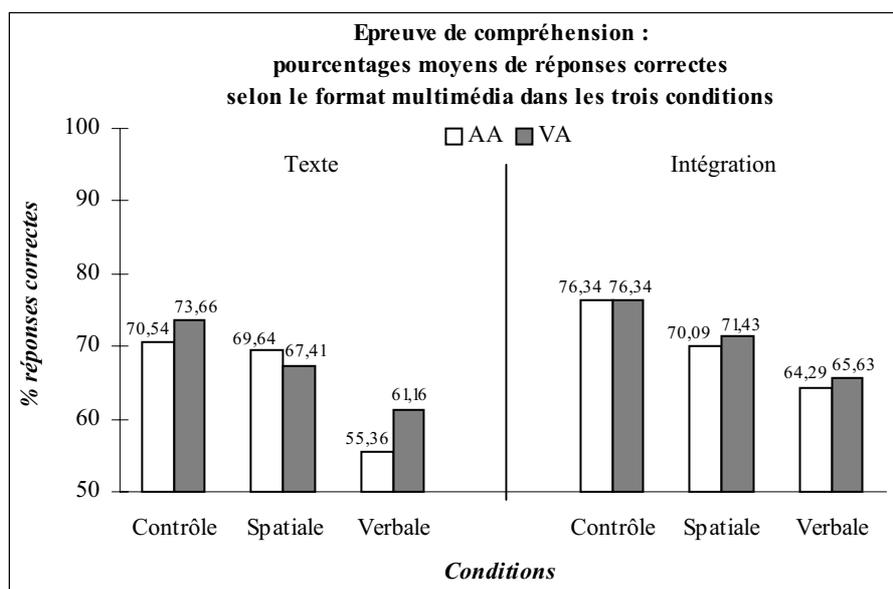


Figure 3. Pourcentages moyens de réponses correctes aux questions de compréhension selon les conditions et le format des séquences

Considérons d'abord la condition contrôle. La figure 3 permet de constater que, contrairement à notre hypothèse, les performances de compréhension ne varient pas avec le format multimédia ($F < 1$), ni avec le type de questions ($F(1,54) = 2,10$). Il n'y a en outre pas d'interaction entre ces deux facteurs ($F < 1$).

Analysons ensuite les résultats dans la condition concurrente spatiale. On peut voir sur la figure 3 que cette tâche n'affecte pas les scores de compréhension ($F(1,54) = 3,67$). De plus, la condition (contrôle ou concurrente spatiale) n'interagit pas avec le format multimédia ($F < 1$), ni avec le type de questions ($F < 1$). Il n'y a pas d'interaction entre ces trois facteurs ($F < 1$).

Enfin examinons les effets de la tâche concurrente verbale. Quand les sujets prononcent les syllabes « ba, be, bi, bo, bu » pendant le visionnage des séquences

multimédia, les scores de compréhension chutent. Ils passent de 74,22 % dans la condition contrôle à 61,61 % ($F(1,54) = 18,72$; $p < .0001$). Mais cet effet négatif ne varie pas avec le format multimédia ($F < 1$), ni avec le type de questions ($F < 1$). La réalisation de la tâche concurrente verbale affecte aussi bien les scores de compréhension dans le format AA que dans le format VA. Elle altère en outre autant la performance aux questions Texte qu'aux questions Intégration. Il n'y a pas d'interaction entre la condition (contrôle ou concurrente verbale), le format multimédia et le type de questions ($F < 1$).

5. Discussion

Cette expérience avait pour objectif d'étudier l'effet de modalité ainsi que la mise en jeu des sous-systèmes visuo-spatial et verbal de la mémoire de travail au cours de la mémorisation et la compréhension d'informations multimédia.

On n'avait pas observé l'effet de modalité avec un échantillon d'apprenants disposant d'un bon niveau de connaissances préalables des thèmes exposés dans les séquences multimédia, dans une précédente recherche [DUBOIS 01]. Nous répliquons ce résultat dans la présente expérience. Les sujets ne répondent pas mieux à des questions de compréhension quand les informations linguistiques leur sont présentées dans un mode sensoriel différent (auditif) du mode dans lequel les informations iconiques sont présentées (visuel). Les résultats à une épreuve de mémorisation confortent ce constat. En effet, nous n'observons pas l'effet de modalité au niveau de scores de reconnaissance de diagrammes ou de phrases. Les sujets qui ont écouté les textes ne reconnaissent pas mieux les informations que les sujets qui ont dû lire les textes. Ensemble, ces résultats soutiennent l'idée que l'effet de modalité serait limité à des populations d'apprenants disposant de peu de connaissances antérieures [MORENO 99, TINDALL-FORD 97]. Les modèles de l'apprentissage multimédia soulignent l'importance des connaissances stockées en mémoire à long terme. Notamment, l'utilisation de ces connaissances est supposée pouvoir participer à réduire la charge cognitive au niveau des sous-composantes de mémoire de travail [MAYER 02, SCHNOTZ 02].

Nous avons utilisé le paradigme de double-tâche pour étudier la mobilisation des sous-systèmes visuo-spatial et verbal de la mémoire de travail. Les résultats ne confirment que partiellement nos hypothèses. Tout d'abord, on constate qu'une tâche concurrente de « tapping » altère la mémorisation des informations linguistiques seulement dans la situation où le calepin visuo-spatial est le plus sollicité (c'est à dire quand textes et diagrammes sont présentés dans le même mode sensoriel, visuel). A l'inverse, une tâche concurrente verbale affecte la mémorisation des informations linguistiques et iconiques seulement quand les textes sont présentés auditivement. Nous appuyant sur ces résultats, nous suggérons que les deux sous-systèmes visuo-spatial et verbal de la mémoire de travail sont mobilisés de façon spécifique pour maintenir en mémoire les traces des informations iconiques et linguistiques, respectivement. Un pattern de résultats différent apparaît si on prend

en considération la compréhension des informations multimédia. Les analyses révèlent qu'une tâche concurrente spatiale n'affecte pas l'exactitude des réponses des sujets à des questions de compréhension, alors qu'une tâche concurrente verbale l'affecte avec la même ampleur que les informations aient été présentées dans un même mode (textes et diagrammes présentés visuellement) ou dans deux modes distincts (présentation auditive des textes et présentation visuelle des diagrammes). Ces résultats répliquent et complètent ceux d'une recherche précédente [DUBOIS 01]. Ils appuient l'idée que chez des apprenants experts, la compréhension d'informations multimédia ne serait pas contrainte par la capacité limitée de la mémoire de travail visuo-spatiale, mais que cette activité mobilise de façon significative la mémoire de travail verbale.

Cette étude s'inscrit dans la lignée des recherches qui soulignent l'impact combiné qu'ont les caractéristiques des apprenants (experts ou novices) et celles du but qu'ils visent (mémorisation ou compréhension) sur l'utilisation des produits pédagogiques multimédia [ROUET 01]. Elle encourage une discussion de l'organisation de la mémoire de travail. Dans le modèle initial de Baddeley [BADDELEY 86], boucle phonologique et calepin visuo-spatial sont envisagés comme des sous-systèmes d'égale importance. Or, si les travaux qui mettent en évidence le rôle important joué par la mémoire de travail verbale dans la cognition sont nombreux, la mémoire de travail visuo-spatiale semble dévouée à un rôle plus accessoire [GYSELINCK 00, 02]. Nos travaux semblent aller dans un sens analogue. Baddeley [BADDELEY 00] a proposé récemment d'ajouter à la boucle phonologique et au calepin visuo-spatial un autre sous-système qui serait spécialisé dans l'intégration d'informations multimodales. Des travaux complémentaires doivent être réalisés pour appuyer ou infirmer ces propositions et éclaircir les relations entre mémoire de travail et « effets multimédia ».

6. Bibliographie

- [BADDELEY 86] Baddeley A.D., *Working memory*, Oxford psychology series no.11, Oxford, Oxford University Press, 1986.
- [BADDELEY 00] Baddeley A.D., « The episodic buffer: a new component of working memory ? », *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, 4(11), p. 417-423.
- [DUBOIS 01] Dubois V., Gyselinck V., Choplin H., « Compréhension d'informations multimodales : influence du mode de présentation et de la mémoire de travail », in E. de Vries, J.-Ph. Pernin et J.-P. Peyrin, *Hypermédiat et Apprentissages*, Paris : INRP/EPI, 2001, p. 211-224.
- [GYSELINCK 99] Gyselinck V., Ehrlich, M.-F., Cornoldi, C., De Beni, R., Dubois, V., « L'intégration d'informations verbales et iconiques dans la compréhension de notions scientifiques : prendre en compte les contraintes cognitives des apprenants », in J.-F. Rouet et B. de La Passardière (Eds.), *Hypermédiat et Apprentissages*, Paris : INRP/EPI, 1999, p. 187-197.

- [GYSELINCK 00] Gyselinck V., Ehrlich, M.-F., Cornoldi, C., De Beni, R., Dubois, V., « Visuo-spatial working memory in learning from multimedia systems », *Journal of Computer Assisted Learning*, 2000, 16, p. 166-176.
- [GYSELINCK 02] Gyselinck, V., Cornoldi, C., Dubois, V., De Beni, R., Ehrlich, M.-F. « Visuospatial memory and phonological loop in learning from multimedia », *Applied Cognitive Psychology*, 2002, 16, p. 665-685.
- [MAYER 99] Mayer R.E., Moreno R., Boire M., Vagge S., « Maximizing constructivist learning from multimedia communications by minimizing cognitive load », *Journal of Educational Psychology*, 1999, 91(4), p. 638-643.
- [MAYER 02] Mayer, R. E., Moreno, R. « Aids to computer-based multimedia learning », *Learning and Instruction*, 2002, 12, p. 107-119.
- [MORENO 99] Moreno R., Mayer R.E., « Cognitive principles of multimedia learning : the role of modality and contiguity », *Journal of Educational Psychology*, 1999, 91(2), p. 358-368.
- [POLLOCK 02] Pollock E., Chandler P., Sweller J., « Assimilating complex information », *Learning and Instruction*, 2002, 12, p. 61-86.
- [ROUET 01] Rouet J.-F., Choplin H., Dubois V., « Effet de l'imagerie et du contexte de tâche sur l'apprentissage à partir de séquences multimédia », In E. de Vries, J. Ph. Pernin, J. P. Peyrin (Eds.), *Hypermédiats et apprentissages*, 2001, INRP, 183-196.
- [SCHNOTZ 99] Schnotz W., Böckheler J., Grzondziel H., « Individual and co-operative learning with interactive animated pictures », *European Journal of Psychology of Education*, 1999, 14(2), p. 245-265.
- [SCHNOTZ 02] Schnotz, W., « Towards an integrated view of learning from text and visual displays », *Educational Psychology Review*, 2002, 14(2), p. 101-120.
- [SWELLER 98] Sweller J., Van Merriënboer J.J., Paas F.G., « Cognitive architecture and instructional design », *Educational Psychology Review*, 1998, 10(3), p. 251-296.
- [TINDALL-FORD 97] Tindall-Ford S., Chandler P., Sweller J., « When two sensory modes are better than one », *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 1997, 3(4), p. 257-287.

