

L'intégration d'informations verbales et iconiques dans la compréhension de notions scientifiques : prendre en compte les contraintes cognitives des apprenants

Valérie Gyselinck, Marie-France Ehrlich, Cesare Cornoldi, Rossana De Beni,
Véronique Dubois

► To cite this version:

Valérie Gyselinck, Marie-France Ehrlich, Cesare Cornoldi, Rossana De Beni, Véronique Dubois. L'intégration d'informations verbales et iconiques dans la compréhension de notions scientifiques : prendre en compte les contraintes cognitives des apprenants. Quatrième colloque "Hypermédias et Apprentissages", Oct 1998, Poitiers, France. pp.187-197. edutice-00000501

HAL Id: edutice-00000501

<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000501>

Submitted on 1 Jul 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'INTÉGRATION D'INFORMATIONS VERBALES ET ICONIQUES DANS LA COMPRÉHENSION DE NOTIONS SCIENTIFIQUES : PRENDRE EN COMPTE LES CONTRAINTES COGNITIVES DES APPRENANTS

**Valérie GYSELINCK*, Marie-France EHRlich*,
Cesare CORNOLDI**, Rossana de BENI**
et Véronique DUBOIS***

* Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université René Descartes,
EPHE et CNRS, 28 rue Serpente 75006 Paris.
Gyselinck@psycho.univ-paris5.fr

** Département de Psychologie, Université de Padoue, Italie

***Résumé :** Les systèmes multimédias conduisent l'apprenant à traiter des informations multimodales : des informations visuelles (énoncés verbaux, illustrations, photographies, graphiques) et des informations auditives (verbales et non verbales). Considérée dans une perspective cognitive, l'intégration de ces diverses informations requiert la mise en jeu de processus complexes, dont la réalisation est contrainte par les caractéristiques du système cognitif du sujet et plus particulièrement par la capacité limitée de la mémoire de travail. Dans une première étape, nos recherches concernent la compréhension, par de jeunes adultes, de notions de physique (électricité statique, pression des gaz, etc.), notions pour lesquelles l'usage d'informations multimodales est particulièrement pertinent. Deux expériences sont résumées, visant à étudier le rôle de la mémoire de travail dans l'intégration de deux catégories d'informations, verbales et iconiques. En référence au modèle de Baddeley (1986), nous nous intéressons à la boucle phonologique et à la mémoire visuo-spatiale. Ces deux systèmes sont mis en jeu dans notre expérience au moyen d'un paradigme de tâches concurrentes réalisées pendant la lecture des textes. Nos résultats montrent que l'intégration d'informations verbales et iconiques met en jeu, de manière spécifique, la mémoire visuo-spatiale. De plus, les apprenants dont la capacité de mémoire visuo-spatiale est élevée ne semblent pas réaliser cette intégration de la même façon que ceux dont la capacité est faible.*

***Mots clés :** compréhension, informations multimédias, notions scientifiques, mémoire de travail, mémoire visuo-spatiale.*

***Abstract :** Multimedia systems require that learners process multimodal information : visual information (verbal statements, illustrations, pictures, diagrams) and auditory information (verbal and non verbal). In a cognitive approach, the integra-*

tion of these information involves complex processes constrained by the properties of learner's cognitive system and especially by the limited capacity of working memory. Our investigations deal with the comprehension of basis notions of physics (static's electricity, gaz pressure etc.). Using multimodal information is particularly relevant for these notions. Two experiments are reported, investigating the role of working memory in the integration of verbal and iconic information. Using the Baddeley (1986) model, we investigated the role of the articulatory loop and visuo-spatial sketchpad by means of a concurrent task paradigm carried out during reading. Results showed that the integration of verbal and iconic information involves the visuo-spatial sketchpad specifically. In addition, learners with a high visuo-spatial memory and learners with a low memory differ in the integration they perform.

Key words : *comprehension, multimedia information, scientific concepts, working memory, visio-spatial memory.*

Les systèmes multimédias sont appelés à se développer considérablement au cours des prochaines années dans les divers établissements d'enseignement. Ces nouveaux moyens de communication conduisent l'apprenant à devoir traiter des informations multimodales : des informations visuelles (énoncés verbaux, illustrations, photographies, graphiques) et des informations auditives (verbales et non verbales). Les concepteurs et les utilisateurs de tels systèmes sont alors confrontés à de redoutables questions. Par exemple : dans quelle mesure l'apprenant est-il capable de traiter ces divers types d'informations ? Quelles sont les règles qui doivent présider au choix du nombre et de la nature des informations simultanément présentées ? Quels sont les facteurs qui caractérisent l'hétérogénéité des apprenants face à de tels systèmes ? Considérée dans une perspective de psychologie cognitive, l'intégration d'informations multimodales requiert la mise en jeu de processus complexes, dont la réalisation est contrainte par les caractéristiques du système cognitif de l'apprenant et plus particulièrement par la capacité limitée de la mémoire de travail. Nos recherches concernent la compréhension, par de jeunes adultes, de notions de physique (électricité statique, pression des gaz etc.), notions pour lesquelles l'usage d'informations multimodales est particulièrement pertinent. Nous étudions le rôle de la mémoire de travail dans l'intégration de deux catégories d'informations, verbales et iconiques. Notre hypothèse générale est que cette intégration est dépendante de la mémoire visuo-spatiale : les apprenants dont la capacité visuo-spatiale est faible pourraient rencontrer des difficultés particulières dans l'intégration des informations multimodales.

Pour conduire de telles recherches, il convient d'adopter des positions théoriques définies concernant la compréhension de textes scientifiques d'une part et la mémoire de travail d'autre part. Au plan de la compréhension, nous nous inspirons de la théorie des modèles mentaux de Johnson-Laird (1983, 1993). Concernant la mémoire de travail, nous adoptons le modèle de Baddeley (1986) en nous intéressant particulièrement au calepin visuo-spatial.

Informations verbales et iconiques dans la compréhension

La théorie des modèles mentaux permet de caractériser la représentation élaborée par l'apprenant au cours de la compréhension de textes. Selon cette théorie, la compréhension met en jeu un ensemble de processus traitant les unités linguistiques de différents niveaux de complexité, processus qui concourent à la construction d'une représentation cohérente définie comme un modèle mental du contenu du texte. Ces processus se développent en mémoire de travail et font largement appel aux connaissances de la mémoire permanente de l'apprenant. La validité des hypothèses dérivées de cette théorie a été confirmée par de nombreuses recherches (Ehrlich & Tardieu, 1993). Plus particulièrement, pour le problème qui nous intéresse ici, cette théorie permet de faire des hypothèses quant au rôle des illustrations dans la compréhension de textes. En effet, une illustration peut être vue comme une expression iconique de certains aspects du modèle mental. L'effet bénéfique des illustrations associées au texte pourrait alors s'expliquer par le fait qu'elles facilitent la construction d'un modèle mental du texte. Cette hypothèse a été confirmée par les résultats de plusieurs recherches (Gyselinck, 1995 ; Hegarty & Just, 1993) qui montrent que la présentation d'illustrations facilite la construction d'une représentation de type modèle mental, ce qui se traduit notamment par une plus grande facilité à intégrer les informations et à élaborer des inférences à partir de ce qui est explicitement dit dans le texte. Ces recherches donnent également des indications sur les différentes conditions dans lesquelles les illustrations ont un effet bénéfique sur la compréhension. Ainsi, il apparaît que les illustrations sont le plus bénéfiques lorsqu'elles permettent la mise en relief des relations entre les éléments décrits, et lorsqu'elles sont présentées simultanément au texte. Ces effets bénéfiques sur la compréhension peuvent être mis en évidence dès le cours de la lecture et se maintiennent dans le temps (voir la synthèse de Gyselinck & Tardieu, sous presse).

Récemment, Hegarty, Carpenter et Just (1996) soulignent la complexité des processus mis en jeu. Le traitement de textes accompagnés d'illustrations exige que l'apprenant mette en œuvre de manière efficiente des processus de sélection et de coordination. Il doit notamment évaluer l'information textuelle et décider quand il est pertinent d'explorer l'illustration, traiter et maintenir en mémoire des informations de nature différente afin de les coordonner. Selon ces auteurs, l'intégration d'informations verbales et iconiques est contrainte non seulement par les capacités d'imagerie et de manipulation spatiale de l'apprenant, mais aussi par la capacité de sa mémoire de travail. Dans le cas d'une présentation des informations verbales et iconiques sur ordinateur, les limites d'une page écran imposent une restriction du nombre d'informations présentées simultanément. Dès que les phénomènes ou les notions deviennent quelque peu complexes, il est alors nécessaire de présenter les informations sur plusieurs pages écran. L'apprenant doit alors, non seulement intégrer les informations présentées simultanément sur une même page écran, mais maintenir en mémoire de travail les informations présentées sur les pages écran précédentes afin de les intégrer aux nouvelles. La capacité de la mémoire de travail et plus particulièrement celle du calepin visuo-spatial devrait alors jouer un rôle central.

Capacité limitée de la mémoire de travail

La mémoire de travail a été définie par Baddeley (1986) comme un système de capacité limitée qui assure une double fonction de traitement et de stockage temporaire des informations. Cette forme de mémoire active interviendrait dans toutes les activités cognitives complexes : compréhension et production du langage, acquisition de nouvelles connaissances, raisonnement, résolution de problèmes, etc. (Barrouillet, 1996 ; Cornoldi & Mc Daniel, 1990 ; Ehrlich & Delafoy, 1990 ; Monnier & Roulin, 1994 ; Vecchi, Monticelli & Cornoldi, 1995). Dans le modèle de Baddeley, la mémoire de travail comporte trois composantes : un administrateur central qui sélectionne et contrôle les opérations de traitement, et deux sous-systèmes périphériques, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. La boucle phonologique a pour rôle de maintenir activées des entrées phonologiques, sous le contrôle d'un processus articulatoire. Le calepin visuo-spatial assure le maintien des informations spatiales et visuelles, ainsi que la formation et la manipulation des images mentales.

Un assez grand nombre d'études a clairement mis en évidence le rôle de la capacité de l'administrateur central dans la compréhension de textes. La capacité de ce système central, mesurée à l'aide d'une épreuve particulière (empan de lecture), est un facteur important dans la mise en œuvre des opérations psycholinguistiques de haut niveau nécessaires à la compréhension (voir, pour l'adulte Just & Carpenter, 1992 ; pour l'enfant Seigneuric, 1998 ; Seigneuric, Ehrlich, Oakhill & Yuill, sous presse ; pour les déficients mentaux, Moleux, Seigneuric & Ehrlich, 1998). Cependant, comme le soulignent Gathercole et Baddeley dans leur ouvrage (1993), le rôle de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial dans la compréhension n'a pas encore fait l'objet d'études systématiques. Notre hypothèse générale est que l'intégration d'informations verbales et d'informations iconiques met en jeu les trois composantes de la mémoire de travail et, notamment, le calepin visuo-spatial.

Les résultats des recherches de Kruley, Sciana et Glenberg (1994) donnent quelques indications en faveur de cette hypothèse. L'intérêt de ces recherches est d'utiliser une méthode de tâches concurrentes qui permet d'étudier dans quelle mesure le traitement du texte et de l'illustration qui l'accompagne sollicite le calepin visuo-spatial. Supposant que la présence de l'illustration facilite la formation d'un modèle mental du texte, Kruley et al. (1994) s'attendent à ce qu'une tâche spatiale concurrente entre en compétition avec les processus de compréhension, au niveau du calepin visuo-spatial. Leurs résultats sont intéressants mais ne sont pas décisifs. Les effets attendus ne sont observés que sur les performances à la tâche concurrente, mais non sur les performances de compréhension du texte. En outre, leur portée est limitée par certains des choix méthodologiques adoptés par les auteurs, notamment, présentation d'une seule illustration concernant l'ensemble du texte.

L'objectif de nos recherches est donc d'étudier le rôle de la capacité limitée de la mémoire de travail dans l'intégration des informations verbales et iconiques au cours de la compréhension de notions scientifiques. Nous présenterons deux expériences visant à tester l'hypothèse selon laquelle cette intégration sollicite le calepin visuo-spatial. Elles utilisent une méthode de tâches concurrentes. Le sujet réalise simultanément deux tâches : lecture d'un texte traitant de notions scienti-

fiques, accompagné ou non d'illustrations, et activation concurrente d'items de différente nature impliquant soit la mobilisation du calepin visuo-spatial, soit la mobilisation de la boucle phonologique. Si l'intégration des informations verbales et iconiques sollicite le calepin visuo-spatial, on s'attend à ce qu'elle soit perturbée par la réalisation de la tâche concurrente spatiale. Plus précisément, on s'attend à ce que le bénéfice des illustrations soit annulé par la tâche concurrente spatiale. En revanche, l'intégration des informations verbales et iconiques ne devrait pas être particulièrement perturbée par la tâche concurrente phonologique. Dans cette seconde situation, le bénéfice des illustrations devrait être maintenu. En outre, dans l'analyse des résultats, nous examinerons le rôle de la variabilité inter-individuelle de la capacité du calepin visuo-spatial.

Expérience 1

Sujets

L'expérience a été réalisée avec de jeunes adultes, étudiants en Psychologie à l'Université René Descartes de Paris. Nous nous intéressons à la compréhension des notions de physique habituellement enseignées à des élèves de fin de collège ou de début de lycée (exemple « La pression des gaz »). Nous supposons que les étudiants en Psychologie, majoritairement issus de sections littéraires, n'ont pas de connaissances approfondies de ces phénomènes. Ils peuvent donc être considérés comme des apprenants, ce dont nous nous assurerons au moyen d'un test approprié. Nous privilégions cette population, afin d'étudier les processus en jeu et de tester nos hypothèses à l'aide de paradigmes expérimentaux appropriés, nécessitant une participation individuelle des apprenants coûteuse en termes d'effort et de temps. 60 étudiants ont participé à l'expérience. Cependant, seuls 48 d'entre eux ont été retenus dans l'analyse des résultats, les autres ayant été écartés en raison d'un niveau de connaissances trop élevé en physique (niveau testé à l'aide d'un questionnaire).

Matériels

Les textes. Six notions simples de physique : l'électrolyse, la pression des gaz, etc. étaient présentées dans six textes comportant tous un titre et neuf phrases.

Les illustrations. Pour chaque notion, une illustration de chaque phrase du texte a été dessinée à l'aide du logiciel Paintbrush. Ces illustrations représentent schématiquement et en couleur les objets, leurs relations temporelles et causales exprimées dans les phrases.

Les questions de compréhension. Pour tester la compréhension de chaque notion, deux types de questions étaient posées aux sujets : des questions mettant en jeu des paraphrases des énoncés du texte et des questions mettant en jeu des inférences élaboratives. Pour chaque notion, trois questions de chaque type étaient présentées, avec trois choix de réponses.

Procédure

1- Mesure des empanns mnésiques : mesure de la capacité du calepin visuo-spatial à l'aide de l'épreuve de Corsi blocs. Cette épreuve est réalisée à l'aide d'un

panneau sur lequel sont disposés de façon aléatoire 9 petits blocs de bois. L'expérimentateur pointe une suite aléatoire de n blocs, suite que le sujet doit immédiatement reproduire sans erreur, n augmente progressivement de 3 à 8. En cas d'erreur, une nouvelle suite de même longueur est présentée. L'empan visuo-spatial est la valeur n de la suite la plus longue que le sujet réussit à reproduire sans erreur (Orsini et al, 1987). Mesure de la capacité de la boucle phonologique à l'aide d'un empan de chiffres, suivant le même principe que la mesure de l'empan spatial, avec des chiffres énoncés oralement que le sujet doit répéter.

2- *Entraînement* à la réalisation de chacune des tâches concurrentes, puis entraînement à la tâche de compréhension avec tâche concurrente.

3- *Lecture et Compréhension des textes* : la consigne invite le sujet à lire attentivement les textes dans le but de les comprendre. Pour chaque texte, les neuf phrases sont présentées une à une sur l'écran d'un ordinateur. Pour la moitié des sujets les phrases sont présentées seules, sans illustration (Groupe P1, 24 sujets). Pour l'autre moitié, chaque phrase est accompagnée d'une illustration, celle-ci apparaissant sur la même page-écran de l'ordinateur, au-dessus de la phrase (Groupe P2, 24 sujets).

Les sujets des deux groupes lisent les textes dans trois conditions (deux textes pour chacune des trois conditions), inspirées de celles utilisées par Kruley et al (1994) :

- avec une tâche concurrente *spatiale* : mémorisation pendant la lecture d'une matrice 4×4, dans laquelle s'inscrivent trois points. À des moments inattendus, la reconnaissance de la matrice est testée et une nouvelle matrice est présentée ;
- avec une tâche concurrente *verbale* : mémorisation pendant la lecture d'une suite de trois non-mots présentés successivement, avec reconnaissance à des moments inattendus ;
- avec une tâche concurrente *contrôle* : pas de mémorisation, mais interruption de la lecture et vérification immédiate d'une matrice 4×4 dans laquelle s'inscrivent trois non-mots.

Après la lecture de chaque texte, six questions sont posées au sujet, trois questions-paraphrases et trois questions-inférences.

Principaux résultats

Le pourcentage de réponses correctes aux questions de compréhension est plus élevé pour les textes accompagnés d'illustrations. Il est également plus élevé pour les questions-paraphrases que pour les questions-inférences. L'interaction entre les deux facteurs est significative : l'effet facilitateur des illustrations n'est observé que pour les questions-inférences¹.

¹ Ces effets sont tous statistiquement significatifs.

La Figure 1 représente les pourcentages de réponses correctes aux questions-inférences, en comparant la tâche concurrente contrôle à la tâche concurrente spatiale d'une part, à la tâche concurrente verbale d'autre part.

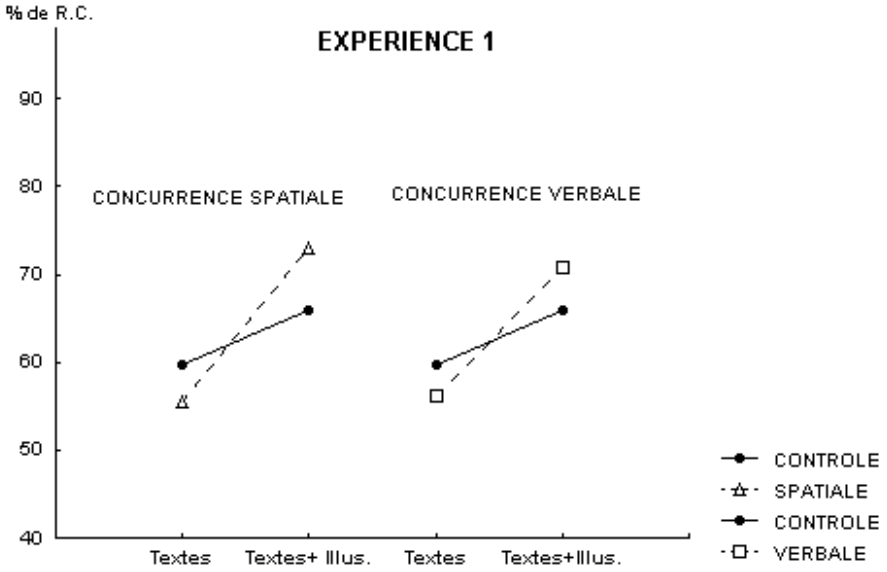


Figure 1. Pourcentages de réponses correctes aux questions-inférences pour les textes présentés seuls ou accompagnés d'illustrations, dans les situations contrôle, de tâche concurrente spatiale et de tâche concurrente verbale de l'expérience 1.

Nous faisons l'hypothèse que l'effet facilitateur des illustrations serait annulé par la tâche concurrente spatiale. Cette hypothèse n'est pas confirmée. En fait, nous n'observons pas d'effet négatif de la tâche concurrente spatiale ni pour les textes présentés seuls, ni pour les textes accompagnés d'illustrations. De même la tâche concurrente verbale n'entraîne pas d'effet négatif, ni pour les textes seuls ni pour les textes illustrés. Les valeurs moyennes observées tendent au contraire à montrer (de manière non statistiquement significative) que l'effet bénéfique des illustrations est plus marqué en présence d'une tâche concurrente, que celle-ci soit spatiale ou verbale.

De tels résultats ne sont pas en accord avec nos hypothèses. Il semble que la réalisation des tâches concurrentes a conduit les sujets à mobiliser plus efficacement les potentialités de leur mémoire visuo-spatiale. Récemment, Wenger et Payne (1996) ont montré qu'une tâche concurrente spatiale facilitait la compréhension d'un hypertexte par rapport à un texte linéaire, classique. Ils développent une interprétation en terme de « traitement approprié au matériel ». Cependant, dans notre expérience, la tendance à la facilitation de la compréhension est observée aussi bien avec la tâche verbale qu'avec la tâche spatiale. En fait, nos résultats doivent être interprétés avec prudence, compte tenu des caractéristiques de la tâche concurrente contrôle. Il est possible que cette tâche ait lourdement sollicité et le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique. Même si les sujets ne devaient pas mémoriser les items pendant la lecture des textes, leur lecture était périodiquement

interrompue et ils devaient réaliser une tâche de vérification qui mettait en jeu le calepin visuo-spatial. Cette interruption a pu perturber le traitement des informations. En d'autres termes, cette tâche ne jouerait pas vraiment le rôle de tâche contrôle.

Un autre point qui doit être considéré est celui de la variabilité inter-individuelle de la capacité du calepin visuo-spatial. Un examen des scores obtenus par les sujets à l'épreuve Corsi blocs montre que les scores sont très dispersés. Lorsqu'on distingue deux sous-groupes de sujets, ceux dont la capacité visuo-spatiale est élevée et ceux dont la capacité est faible, les effets observés dans les deux sous-groupes sont quelque peu différents. Il est donc intéressant d'étudier systématiquement ce facteur.

Expérience 2.

La problématique et les hypothèses de cette seconde expérience sont les mêmes que celles de la première. Les sujets sont invités à lire les mêmes textes présentés seuls ou accompagnés d'illustrations et l'on étudie le rôle de tâches concurrentes spatiale ou verbale sur la compréhension. Par rapport à la première expérience, nous avons modifié les tâches concurrentes et la tâche contrôle et nous avons étudié systématiquement l'influence de la capacité de la mémoire visuo-spatiale des sujets.

- Tâche concurrente *spatiale* : « *tapping* » de quatre boutons-poussoirs disposés en losange, en boucle, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, au rythme d'un bouton par seconde.
- Tâche concurrente *verbale* : répétition à voix haute de la suite de syllabes « *ba, be, bi, bo, bu* », au rythme de 1 syllabe par seconde.
- Situation *contrôle* : aucune tâche n'est réalisée pendant la lecture des textes.

Sur la base des scores obtenus à l'épreuve de Corsi blocs mesurant la capacité de la mémoire visuo-spatiale, distinction de deux sous-groupes de sujets : capacité visuo-spatiale élevée (le 1/3 des sujets dont les scores sont les plus forts) et capacité visuo-spatiale faible (le 1/3 des sujets dont les scores sont les plus faibles). Afin d'analyser un nombre suffisant d'observations, l'effectif de chaque groupe était au départ assez fort (45 et 43), de telle sorte que chacun des sous-groupes comporte 15 sujets.

Principaux résultats

Afin de tester nos hypothèses, deux analyses de variance ont été conduites, l'une considérant la tâche concurrente spatiale et la situation contrôle, l'autre considérant la tâche concurrente verbale et la situation contrôle.

La tâche concurrente spatiale annule l'effet bénéfique des illustrations sur la compréhension (présence d'une interaction statistiquement significative), tandis que la tâche concurrente verbale, tout en ayant un effet négatif, permet de maintenir le bénéfice des illustrations (absence d'interaction). Les mêmes résultats sont observés pour les questions-paraphrases et pour les questions-inférences. Afin de comparer

les résultats des deux expériences, seuls les pourcentages des réponses correctes aux questions-inférences sont représentés dans la Figure 2.

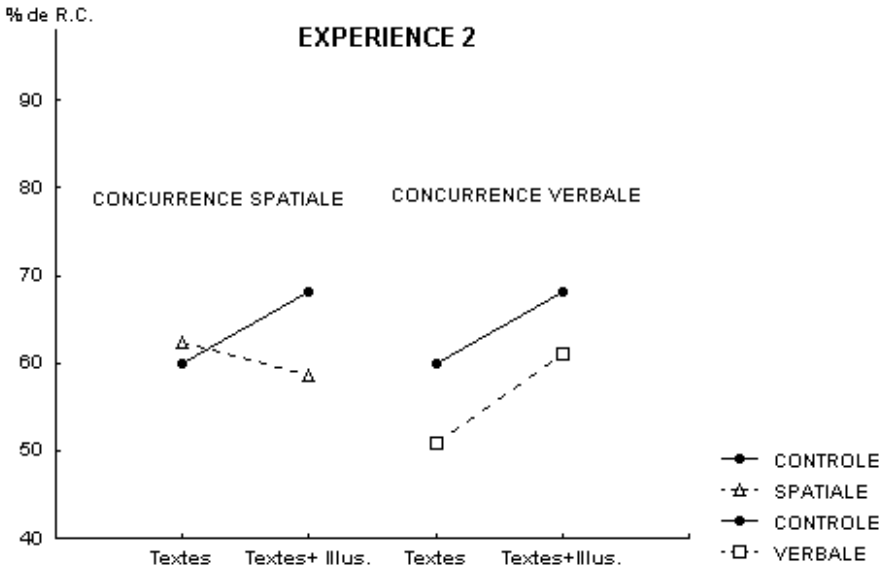


Figure 2. Pourcentages de réponses correctes aux questions-inférences pour les textes présentés seuls ou accompagnés d'illustrations, dans les situations contrôle, de tâche concurrente spatiale et de tâche concurrente verbale de l'expérience 2.

Ainsi, les résultats de cette seconde expérience confirment nos hypothèses. Lorsqu'on examine les différences individuelles, le pattern de résultats décrit ci-dessus n'est observé que pour les sujets dont la capacité visuo-spatiale est élevée qui, en situation contrôle, bénéficient des illustrations, non seulement pour les questions-inférences mais aussi pour les questions-paraphrases. Les sujets dont la capacité visuo-spatiale est faible ne tirent pas le même bénéfice des illustrations et ne montrent pas d'interaction ni en situation concurrente spatiale ni en situation concurrente verbale.

Il apparaît donc clairement que l'intégration d'informations verbales et iconiques met en jeu le calepin visuo-spatial et que la capacité de cette mémoire peut être la source de différences importantes dans l'efficacité de l'intégration de ces informations.

En conclusion

Les deux expériences brièvement rapportées ci-dessus avaient pour objectif d'étudier le rôle de la mémoire de travail dans l'intégration des informations verbales et iconiques. La première expérience donne des résultats quelque peu inattendus, mais la seconde montre clairement que l'intégration d'informations verbales et iconiques met en jeu un système spécialisé, le calepin visuo-spatial. Les deux expériences conduisent à mettre l'accent sur le rôle de la capacité limitée de ce système visuo-spatial. Ces résultats contribuent à donner des éléments de réponse

aux questions posées au début de cet exposé et pourraient par conséquent orienter les réflexions sur la conception de systèmes multimédias. Il semble ainsi que du fait de ses contraintes cognitives, l'apprenant ne peut traiter efficacement qu'un nombre limité d'informations de divers types. En particulier, l'un des facteurs qui caractérisent l'hétérogénéité des apprenants face aux systèmes multimédias est la capacité limitée de la mémoire de travail, et notamment la capacité limitée de la mémoire visuo-spatiale. Nos résultats indiquent que cette dernière est fortement sollicitée dans l'intégration d'informations verbales et iconiques. Aussi, les apprenants dont la capacité visuo-spatiale est faible peuvent être confrontés à des difficultés particulières pour intégrer des informations multimodales. Ces contraintes cognitives doivent par conséquent être prises en compte dans la conception des systèmes multimédias.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baddeley A. (1986). *Working Memory*, Oxford : Clarendon Press.
- Barrouillet P. (1996). « Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : Postulats, métaphores et modèles », *Psychologie Française*, 41, 319-338.
- Cornoldi C. & McDaniel M. (Eds.) (1990). *Imagery and Cognition*, New York : Springer.
- Ehrlich M.-F. & Delafoy M. (1990). « La mémoire de travail : structure, fonctionnement, capacité », *L'Année Psychologique*, 90, 403-428.
- Ehrlich M.-F. & Tardieu H. (1993). « Modèles mentaux, modèles de situation et compréhension de textes », in M.-F. Ehrlich, H. Tardieu, & M. Cavazza (Eds), *Les Modèles Mentaux : approche cognitive des représentations*, 47-78, Paris : Masson.
- Gathercole S. E. & Baddeley A. (1993). *Working memory and language*, Hove, U.K. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Gyselinck V. (1995). *Les modèles mentaux dans la compréhension de textes : le rôle des illustrations*, Thèse de doctorat de Psychologie, Université René Descartes, Paris V.
- Gyselinck V. & Tardieu H. (sous presse). « The role of illustrations in text comprehension : what, when, for whom, and why ? », in S. R. Goldman and H. van Oostendorp (Eds.), *The Construction of Mental Representations During Reading*, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Hegarty M. & Just M. A. (1993). « Constructing mental models of machines from texts and diagrams », *Journal of Memory and Language*, 32, 717-742.
- Hegarty M., Carpenter P. A. & Just M. A. (1996). « Diagrams in the comprehension of scientific texts », in R. Barr, M.L. Kamil, P. Mosenthal, & P.D. Pearson (Eds.), *Handbook of reading research*, vol. II, p. 641-668, Mahwah, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson-Laird P. N. (1983). *Mental models : Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*, Cambridge : Cambridge University Press.
- Johnson-Laird P. N. (1993). « La théorie des modèles mentaux », in M.-F. Ehrlich, H. Tardieu, & M. Cavazza (Eds), *Les Modèles Mentaux : approche cognitive des représentations*, 1-22. Paris : Masson.

- Just M. A. & Carpenter P. A. (1992). « A capacity theory of comprehension : individual differences in working memory », *Psychological Review*, 99, 122-149.
- Kruey P., Sciana S. C., & Glenberg A. M. (1994). « On-line processing of textual illustrations in the visuospatial sketchpad : Evidence from dual-task studies », *Memory and Cognition*, 22, 261-272.
- Moleux H., Seigneuric A. & Ehrlich M.-F. (1998). « Mémoire phonologique, mémoire de travail et compréhension de l'écrit chez des adolescents présentant une déficience intellectuelle », in F.P. Büchel, J.-L. Paour, Y. Courbois et U. Scharnhorst (Eds.), *Attention, mémoire, apprentissage. Études sur le retard mental* (p. 77-88), Lausanne, Édition SZH.
- Monnier C. & Roulin J.-L. (1994). « À la recherche du calepin visuo-spatial en mémoire de travail », *L'Année Psychologique*, 94, 425-460.
- Orsini A., Grossi D., Capitani E., Laiacona M., Papagno C. & Vallar G. (1987). « Verbal and spatial immediate memory span : Normative data from 1 355 adults and 1 112 children », *Italian Journal of Neurological Sciences*, 6, 539-548.
- Seigneuric A. (1998). *Mémoire de travail et compréhension de l'écrit chez l'enfant*, Thèse de Doctorat, Université René Descartes, Paris.
- Seigneuric A., Ehrlich M.-F., Oakhill J. & Yuill N. (sous presse). « Working memory resources and children's reading comprehension », *Reading and writing*.
- Vecci T., Monticelli M. L. & Cornoldi C. (1995). « Visuo-spatial working memory : Structures and variables affecting a capacity measure », *Neuropsychologia*, 33, 1549-1564.
- Wenger M. J., & Payne D. G. (1996). « Comprehension and retention of non linear text : Considerations of working memory and material appropriate processing », *American Journal of Psychology*, 109, 93-130.