

# Rôle du guidage fourni par la structure d'un cours en ligne en fonction du niveau et du type d'expertise des apprenants

Franck Amadiou

André Tricot

Claudette Mariné

Laboratoire Travail & Cognition, UMR 5551CNRS - Université de Toulouse le Mirail  
5 allée Antonio Machado, 31058 Toulouse, France

amadiou@univ-tlse2.fr andre.tricot@toulouse.iufm.fr marine@univ-tlse2.fr

Les trois auteurs collaborent aussi aux travaux de l'équipe de recherche technologique 34  
« Hypermédias et apprentissages »

## Résumé :

Cette étude traite du rôle du guidage fourni par le niveau de structuration d'un cours en ligne et du type d'expertise des apprenants sur l'apprentissage. Deux structures d'un cours présentant la théorie de la flexibilité cognitive ont été comparés : structuration linéaire vs. non-linéaire. Le cours était présenté à 3 groupes de sujets : un groupe de novices, un groupe d'experts monovalents (EM) - possesseurs d'un type d'expériences et de connaissances dans le domaine de la pédagogie -, et un groupe d'experts polyvalents (EP) - possesseurs de plusieurs types d'expériences et de connaissances dans le même domaine -. Les résultats montrent un meilleur apprentissage pour les novices avec la structure linéaire mais aucun effet de la structure pour les experts. Ensuite, les EP ont obtenu de meilleures performances que les EM indépendamment de la structure mais ne montrent une efficacité mentale (rapport performance / charge cognitive) supérieure qu'avec la structure non-linéaire.

Mots clefs : apprentissage, charge cognitive, compréhension, guidage, hypertexte, niveau d'expertise, structuration, type d'expertise.

## Introduction

Les supports d'apprentissage en ligne sont très divers et suscitent aujourd'hui de nombreuses interrogations, notamment concernant leur structuration. Les supports de cours linéaires, en offrant peu de choix de parcours aux apprenants, leur fournissent un guidage. Les supports de cours non linéaires, les hypertextes, en offrant de nombreux choix de navigation, guident peu l'apprenant, ce qui implique que l'apprenant régule son propre apprentissage. Enfin, les supports structurés hiérarchiquement, s'ils laissent quelques choix de navigation aux apprenants, leur fourniraient une sorte de guidage conceptuel.

De nombreuses études montrent une influence positive d'une structure forte (linéaire, hiérarchique) des hypertextes pour des novices sur leur apprentissage (Shin, Schallert & Savey, 1994), sur leur compréhension (Potelle & Rouet, 2003 ; Shapiro, 1999, 2000) ou encore sur les performances à une tâche de recherche d'information (McDonald & Stevenson, 1998). Concernant l'expertise, les résultats sont plus mitigés, indiquant que les experts tirent plutôt avantage d'une structure non-linéaire (e.g. Shin *et al.*, 1994) ou bien qu'ils ne tirent pas profit d'un

type de structuration particulier (e.g. Lee & Lee, 1991 ; Potelle & Rouet, 2003).

La structuration forte d'un hypertexte favoriserait chez les novices la construction d'une structure conceptuelle en mémoire, un repérage des informations pertinentes et des relations entre informations, et donc faciliterait l'intégration des informations à la base de connaissances. En revanche, les experts utiliseraient leur propre structure conceptuelle du domaine, ce qui leur permettrait de s'abstraire de la structure de l'hypertexte.

La structure d'un cours sert donc de guidage pour l'apprentissage. Or, la théorie de la charge cognitive traite en grande partie de la notion de guidage dans les apprentissages.

## La théorie de la charge cognitive et l'effet de renversement de l'expertise (*expertise reversal effect*)

La théorie de la charge cognitive interprète l'efficacité d'un apprentissage sur la base d'une architecture cognitive où le concept d'une mémoire de travail à capacité limitée est central (Sweller, 2003). Selon cette théorie, le guidage amène une réduction de la charge engendrée par

les caractéristiques du dispositif d'apprentissage (charge extrinsèque), améliore le traitement du contenu (charge intrinsèque) et favorise l'élaboration de schémas (Kirschner, 2002 ; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998). Le guidage joue le rôle d'un administrateur central palliant ainsi l'absence de schémas chez l'apprenant.

Cependant, l'effet du guidage est apparu contre-productif pour des apprenants familiers du domaine à apprendre (e.g. Chandler & Sweller, 1996 ; Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998 ; Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001). Ainsi, un support d'apprentissage offrant un guidage peut devenir désavantageux pour un apprenant expert du domaine. Kalyuga, Ayres, Chandler et Sweller (2003) parlent d'un effet de renversement de l'expertise. Les informations guidant l'apprenant peuvent être redondantes et interférentes car elles impliquent une mobilisation de ressources inutiles pour l'expert. Des résultats similaires ont été obtenus dans le champ d'étude de la compréhension de texte.

### Modèle de Construction-Intégration

En effet, la cohérence d'un texte fournit un guidage qui favorise l'apprentissage pour des novices, mais l'absence de cohérence améliore l'apprentissage des lecteurs ayant des connaissances antérieures (McNamara & Kintsch, 1996; McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996). Le modèle construction-intégration de Kintsch (1988) considère la construction d'une représentation mentale du texte comme la résultante de l'interaction entre les informations du texte et les connaissances du lecteur. Deux niveaux de compréhension sont distingués : la *base de texte* qui consiste en une représentation du texte composée d'éléments et de relations qui sont directement dérivés du texte et le *modèle de situation* qui consiste en une représentation construite à partir du texte et des connaissances antérieures.

Ainsi, une faible cohérence induirait pour des experts un traitement plus profond du texte à travers la mise en œuvre d'inférences élaboratives et donc favoriserait la construction du modèle de situation.

### Peut-on distinguer différents types d'expertise ?

L'expertise est habituellement abordée dans la littérature en terme de quantité d'expériences, mais considère plus rarement le rôle du type d'expériences. Comme le souligne Briggs (1988), un seul type d'expérience est susceptible de générer des croyances qui ne supportent pas les processus d'assimilation de nouvelles connaissances dans une nouvelle situation. Lors d'un apprentissage autodirigé, la

métaconnaissance joue un rôle essentiel ; cette métaconnaissance s'enrichirait à travers la diversité des expériences passées. Une étude de Briggs (1990) portant sur l'apprentissage d'un traitement de texte, indique qu'en multipliant les connaissances et l'utilisation des systèmes de traitement de texte, les individus deviennent davantage conscients des caractéristiques principales d'une tâche de traitement de texte. Ceci rejoint la théorie de la flexibilité cognitive qui suggère que la diversité des contenus et des exemples favoriserait la construction de schémas abstraits pertinents pour de nouvelles situations.

### Objectifs de l'étude

Cette étude aborde le rôle de la cohérence fournie par la structure d'un cours en ligne. Nous avançons qu'une structure linéaire favorisera la compréhension et l'acquisition de connaissances conceptuelles chez les novices alors que des experts tireront avantage d'une structure non-linéaire, qui leur permettra d'autoréguler leur apprentissage sur la base de leurs schémas en mémoire à long terme. En d'autres termes nous attendons un effet de renversement de l'expertise.

En plus d'une distinction expert-novice, nous nous intéressons à la distinction de deux types d'expertise sur la base de la diversité des expériences des sujets. Nous postulons que les experts ayant une variété d'expériences et de connaissances (experts polyvalents) ont construit des schémas d'un haut niveau d'abstraction et des métaconnaissances qui favoriseront l'apprentissage avec la structure non-linéaire. En revanche, les experts n'ayant qu'un type d'expérience auront des schémas de moins haut niveau que les experts polyvalents et ainsi tireront moins avantage de la structure non-linéaire que les experts polyvalents.

### Méthodologie

#### Sujets

Quatre vingt sept sujets ont participé à l'expérience (54 hommes et 33 femmes). Le groupe de novices est constitué de trente deux étudiants de l'université de Toulouse le Mirail n'ayant aucune connaissance universitaire dans les domaines de la pédagogie et de la psychologie. Ils sont inscrits dans d'autres filières et déclarent ne connaître aucune théorie pédagogique. Le groupe des experts monovalents (EM) est constitué de trente cinq professeurs stagiaires en IUFM, futurs professeurs des lycées et collèges. Ils ne connaissent en général qu'une seule, voire aucune théorie pédagogique, et ne possèdent qu'un type d'expérience dans le sens où ils n'enseignent qu'une seule discipline. Enfin, le groupe des experts polyvalents (EP) était composé de vingt professeurs stagiaires en IUFM,

futurs professeurs des écoles. Généralement, ils connaissent plusieurs théories pédagogiques et possèdent plusieurs types d'expériences dans le sens où ils enseignent plusieurs disciplines. Notons qu'aucun des sujets n'a de connaissances sur le contenu à apprendre.

## Matériel

### Matériel d'apprentissage

Un cours traitant de la théorie de la flexibilité cognitive (CFT) (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991) est présenté au sujet sur un ordinateur via un navigateur Internet. Deux niveaux de structuration du cours ont été conçus : une structure linéaire qui impose une consultation séquentielle du cours pour l'apprenant (guidage important – peu d'autocontrôle offert à l'apprenant) et une structure non-linéaire qui permet une consultation libre des contenus (guidage faible – autocontrôle important pour l'apprenant). La structure linéaire force les participants à consulter le cours d'une seule manière, alors que la structure non-linéaire, composée de liens organisationnels et de liens transversaux, permet à l'apprenant de construire son propre parcours.

Enfin, le cours se divise en trois parties : les concepts de base de la CFT, les principes de la CFT et les recommandations pédagogiques de la CFT.

### Performance et charge cognitive

Deux niveaux de représentation du texte sont abordés : la base de texte (évaluée par 10 questions à choix multiple dont les réponses sont explicitement dans le texte) et le modèle de situation (évalué par 10 questions à choix multiple dont les réponses sont implicitement mentionnées dans le texte). Enfin, le niveau d'acquisition des connaissances est évalué à travers une tâche de transfert. Cette tâche consiste pour les sujets à résoudre deux problèmes : chacun présente une situation pédagogique dans laquelle les sujets doivent d'abord repérer les aspects de la situation en accord avec la CFT et ensuite proposer des recommandations sur les bases de la CFT pour améliorer la situation. Pour chaque exercice de transfert, 1 point était attribué pour chaque recommandation repérée ou proposée (maximum 5), et 1 point pour chaque principe de la CFT repéré dans la situation décrite (maximum 2). Le score de transfert (maximum de 14) a été ramené à 10.

La charge cognitive est évaluée à travers une mesure subjective et indirecte (Brunken, Plass, & Leutner, 2003) : effort mental investi rapporté par le sujet sur une échelle en 9 points (de "très très faible" à "très très important"). Ainsi, l'efficacité

mentale<sup>1</sup> correspondant au rapport entre la performance et la charge cognitive associée (Paas & Van Merriënboer, 1993) est calculée en considérant les scores au test de transfert et les scores de charge subjective.

## Procédure

### Pré-test

Chaque participant remplit un questionnaire relevant l'âge, le niveau d'étude, la fréquence d'utilisation d'un ordinateur et d'Internet ainsi que les méthodes et théories pédagogiques connues.

### Test (phase d'apprentissage)

Chaque groupe de sujets (novices, EM et EP) a été divisé en 2 : une moitié passe dans la condition structure linéaire et l'autre moitié dans la condition structure non-linéaire.

Chaque individu lit la consigne sur l'écran d'ordinateur lui indiquant de mémoriser et de comprendre le maximum d'informations sachant qu'il devra répondre par la suite à un test. Les fonctions de navigation sont indiquées à l'écran après la consigne. Les participants ne peuvent pas prendre de notes ni dépasser 25 minutes de consultation du cours. Enfin, notons qu'ont été relevés les temps d'apprentissage et l'activité de navigation dans le cours (nombre et type de pages consultées) à l'aide d'un logiciel de traçage de l'INRP (traceur de navigation pour Internet Explorer<sup>2</sup>).

### Post-test

Après la phase d'apprentissage, les participants répondent aux tests de performances (questions sur la base de texte, questions d'inférences et tâche de transfert). Il n'y a pas de limite de temps. Enfin, les sujets indiquent l'effort mental qu'ils ont engagé dans la tâche d'apprentissage sur l'échelle de charge en 9 points.

## Résultats

Pour chaque variable dépendante, la comparaison experts / novices est présentée avant la comparaison monovalents / polyvalents.

### Performances

#### Compréhension de surface (base de texte)

Concernant les scores aux questions d'évaluation de la base de texte (compréhension de surface), une ANCOVA avec le niveau d'étude ne révèle qu'un effet positif du niveau d'étude sur la compréhension de surface ( $F(1,81)=3,895$  ;  $p=.052$ ).

Pour le type d'expertise, une ANOVA 2\*2 révèle un effet principal du type d'expertise ( $F(1,51)=$

1 (Z performance – Z mental effort) /  $\sqrt{2}$  (Paas & Van Merriënboer, 1993)

2 <http://www.inrp.fr/Tecne/adipc/aides/outils/aides-obs.htm>

11,193 ;  $p < .01$ ). Les EP ont obtenu un score moyen supérieur ( $M=8,87$ ) à celui des EM ( $M=7,60$ ). Aucun autre effet n'a été observé.

### Compréhension profonde (modèle de situation)

Une ANOVA 2\*2 ne montre aucun effet du niveau d'expertise. L'application d'une analyse par contrastes montre un effet marginalement significatif du type de structure sur le score de compréhension profonde chez les novices ( $F(1,83)= 3,211$  ;  $p=.077$ ). Pour les novices, le score moyen aux questions d'inférences est meilleur dans la condition linéaire ( $M=7,56$ ) que dans la condition non-linéaire ( $M=6,18$ ).

Pour le type d'expertise, une ANOVA 2\*2 indique un effet significatif du type d'expertise ( $F(1,50)=30,79$  ;  $p < .001$ ). Les EP ont obtenu de meilleurs scores ( $M=8$ ) que les EM ( $M=5,32$ ). Par contre, contrairement à nos attentes, aucun effet de renversement de l'expertise n'a été observé.

### Transfert (compréhension & acquisition des connaissances)

Concernant la comparaison expert/novice (figure 1), une ANOVA 2\*2 montre un effet principal du type de structure ( $F(1,83)= 5,698$  ;  $p < .05$ ) mais aucun effet du niveau d'expertise ( $F(1,81)=0,206$ ). Un effet d'interaction est observé ( $F(1,83)= 12,665$  ;  $p=.001$ ). Une analyse par contrastes indique que les novices bénéficient davantage de la structure linéaire ( $M=4,33$ ) que de la structure non-linéaire ( $M=2,32$ ), ( $F(1,83)=13,982$  ;  $p < .001$ ). De plus, dans la condition non-linéaire, les experts ont obtenu un score supérieur ( $M=3,94$ ) à celui des novices ( $M=2,32$ ), ( $F(1,83)=11,424$  ;  $p=.001$ ). Par contre, les experts ne bénéficient d'aucun type de structure en particulier ( $F(1,83)=0,933$ ).

Enfin concernant le type d'expertise (figure 2), une ANOVA 2\*2 ne montre qu'un effet principal du type d'expertise ( $F(1,51)=13,357$  ;  $p=.001$ ). Les EP ont mieux réussi ( $M=4,61$ ) que les EM ( $M=3,24$ ). Les résultats confirment une supériorité des EP sur le EM mais n'indiquent aucun effet renversé de l'expertise.

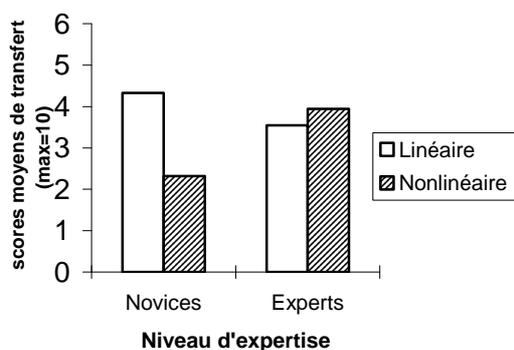


Figure 1 : Scores moyens de transfert selon le niveau d'expertise et le type de structure du cours

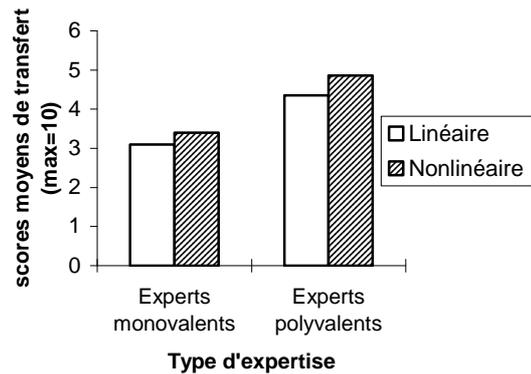


Figure 2 : Scores moyens de transfert selon le type d'expertise et le type de structure du cours

### Efficience mentale

Concernant le niveau d'expertise, le pattern de résultats sur l'efficience mentale réplique le pattern de résultats sur les performances de transfert. En effet, une interaction entre la structure et le niveau d'expertise est observée ( $F(1,83)=4,064$  ;  $p < .05$ ). Une analyse par contrastes montre que l'efficience des novices dans la condition linéaire ( $M=0,409$ ) est plus importante que dans la condition non-linéaire ( $M=-0,623$ ) ( $F(1,83)=10,035$  ;  $p < .01$ ). Enfin, dans la condition non-linéaire l'efficience des experts ( $M=-0,042$ ) est supérieure à celle des novices ( $M=-0,623$ ), ( $F(1,83)=3,98$  ;  $p < .05$ ).

Pour le type d'expertise, une ANOVA 2\*2 indique un effet marginalement significatif du type d'expertise ( $F(1,51)=3,349$  ;  $p=.073$ ). Une analyse par contrastes montre que dans la condition non-linéaire, l'efficience des EP ( $M=0,339$ ) tend à être supérieure à celle des EM ( $M=-0,350$ ), ( $F(1,51)=3,877$  ;  $p=.054$ ). Aucune différence significative n'est observée dans la condition linéaire ( $F(1,51)=0,375$ ). Ainsi, les EP semblent davantage tirer profit que les EM de la structure non-linéaire, mais pas de la structure linéaire.

### Activité de navigation

Dans l'ensemble, les résultats indiquent une relative homogénéité des comportements de navigation ainsi que des temps de consultation entre les différents niveaux et types d'expertise.

Néanmoins lorsque l'on s'intéresse au degré d'exploration du contenu ([nombre de pages ouvertes / temps de consultation] \* 100), on constate que dans la condition linéaire, les novices voient leur charge cognitive diminuer lorsque leur degré d'exploration augmente pour l'ensemble du cours ( $r(16)= -0,63$  ;  $p < .01$ ) et pour la partie du cours traitant des recommandations - partie complexe dans le sens où sa compréhension repose sur la compréhension des parties précédentes du cours - ( $r(16)= -0,59$  ;  $p < .01$ ). Dans la même condition, pour les experts monovalents, plus le degré d'exploration des pages sur les recommandations est important,

plus la charge cognitive est faible ( $r(18) = -0,42$  ;  $p < .05$ ) mais à l'inverse, la charge cognitive des experts polyvalents augmente avec leur degré d'exploration générale ( $r(10) = 0,70$  ;  $p < .05$ ) et de la partie traitant des recommandations ( $r(10) = 0,57$  ;  $p < .05$ ). Ceci semble suggérer que la structure linéaire permet une réduction de la charge extrinsèque pour les novices et les EM, ce qui permettrait de davantage explorer les pages, alors que pour les EP la structure linéaire interférerait avec leur structure conceptuelle du domaine et donc engendrerait une augmentation de la charge extrinsèque associé au degré d'exploration.

## Discussion & conclusion

Cette étude portait sur l'existence d'une interaction entre le niveau de guidage fourni par la structure d'un cours en ligne et le niveau d'expertise des apprenants mais aussi entre le niveau de guidage et le type d'expertise des apprenants (monovalence – polyvalence).

Les résultats ont montré que le guidage fourni par la structure linéaire ne favorise pas la compréhension de surface des novices mais tend à améliorer leur compréhension profonde et surtout l'acquisition des connaissances. Les résultats concernant l'efficacité mentale vont dans le même sens. La structure linéaire joue donc un rôle essentiel chez les novices pour l'intégration des informations à la base de connaissances.

Concernant les experts, nos résultats répliquent ceux de précédentes études (e.g. Lee & Lee, 1991 ; Potelle & Rouet, 2003) indiquant une absence d'effet de la structure chez les experts. Ainsi, les experts semblent utiliser leur propre structure conceptuelle pour traiter le cours et ne semblent pas affectés par la structure linéaire, contrairement à nos attentes.

Concernant le type d'expertise, les résultats ont montré que les experts polyvalents ont eu de meilleurs résultats que les experts monovalents pour chaque indicateur de performance. Ainsi, les résultats confirment un effet de la diversité des expériences et des connaissances sur la compréhension et l'apprentissage. Malheureusement, cet effet est indépendant du type de structure, ce qui traduit une absence d'effet de renversement de l'expertise. Néanmoins, les résultats portant sur l'efficacité mentale nous ont montré que les polyvalents ont une efficacité qui tend à être plus importante que celle des monovalents uniquement dans la condition de faible guidage (structure non-linéaire). Nous pouvons alors supposer qu'en absence de guidage les polyvalents ont une charge extrinsèque moins importante que les monovalents.

Pour tenter d'expliquer l'absence d'effet de renversement de l'expertise, nous proposons deux interprétations. Tout d'abord, la structure non-linéaire n'était peut-être pas « suffisamment non-linéaire ». En effet, la structure était hiérarchique et donc fournissait tout de même une organisation assez importante du contenu. Ainsi, une structure en réseau aurait pu être mieux adaptée, car plus représentative d'une structure non-linéaire.

Ensuite, nous suggérons que plusieurs niveaux de cohérence, et donc de guidage, peuvent être considérés dans le cours. Nous distinguons au moins deux niveaux de cohérence : la "superstructure" qui correspond à la structure du cours et une macrostructure issue du cours qui est favorisée par des indices comme les titres, la structure causale ou encore des pages de liaison. En effet, une analyse des corrélations montre que dans la condition non-linéaire, les scores de transfert des novices augmentent avec le temps de consultation d'une page de liaison (elle synthétise les pages précédentes et annonce le plan de la dernière partie du cours – partie cruciale pour résoudre le problème de transfert) ( $r(16) = 0,58$  ;  $p < .01$ ) et le nombre de consultations de cette page ( $r(16) = 0,54$  ;  $p < .05$ ). Par contre aucune corrélation n'est observée dans la condition linéaire. Ainsi, certains indices internes au cours ont pu introduire une cohérence qui réduirait alors l'écart de cohérence attendu entre les deux types de structures du cours. Ceci soulève la nécessité de considérer l'effet de plusieurs niveaux de cohérence et de l'interaction entre ces niveaux sur les activités de compréhension et d'apprentissage.

## Bibliographie

- Briggs, P. (1988). What we know and what we need to know : the user model versus the user's model in human-computer-interaction. *Behaviour and Information Technology*, 7(4), 431-442.
- Briggs, P. (1990). They know what they're doing? An evaluation of word-processor users' implicit and explicit task-relevant knowledge, and its role in self-directed learning. *International Journal of Man-Machine Studies*, 32(4), 385-398.
- Brunken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10(2), 151-170.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to

- studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension : A construction-integration model. *Psychological Review*, 95(2), 163-182.
- Kirschner, P. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning & Instruction*, 12(1), 1-10.
- Lee, S.-S., & Lee, Y. H. K. (1991). Effects of learner-control versus program-control strategies on computer-aided learning of chemistry problems: For acquisition or review? *Journal of Educational Psychology*, 83(4), 491-498.
- McDonald, S., & Stevenson, R.J. (1998). Effects of text structure and prior knowledge of the learner on navigation in hypertext. *Human Factors*, 40(1), 18-27.
- McNamara, D.S., & Kintsch, W. (1996). Learning from texts : Effects of prior knowledge and text coherence. *Discourse Processes*, 22(3), 247-288.
- McNamara, D.S., Kintsch, E., Songer, N.B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14(1), 1-43.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: an approach to combine mental effort and performance measures. *Human factors*, 35(4), 737-743.
- Potelle, H., & Rouet, J.-F. (2003). Effects of content representation and readers' prior knowledge on the comprehension of hypertext. *International Journal of Human Computer-Studies*, 58(3), 327-345.
- Shapiro, A.M. (2000). The effect of interactive overviews on the development of conceptual structure in novices learning from hypermedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 9(1), 57-78.
- Shapiro, A.M. (1999). The relationship between prior knowledge and interactive overviews during hypermedia-aided learning. *Journal of Educational Computing Research*, 20(2), 143-163.
- Shin, E.C., Schallert D.L., & Savenye, W.C. (1994). Effects of learner control, advisement, and prior knowledge on young students' learning in a hypertext environment. *Educational Technology Research & Development*, 42(1), 33-46.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Jacobson, M.J., & Coulson, R.L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31(5), 24-33.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation, Vol 43*. San Diego: Academic Press.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.