

Comprendre des documents non-linéaires :

Quelles ressources apportées par les connaissances antérieures ?

Franck Amadiou, André Tricot & Claudette Mariné

Cognition, Langues, Langage, Ergonomie – Laboratoire Travail et Cognition (CLLE-LTC,

UMR5263), Université de Toulouse

Comprendre des documents non-linéaires

Correspondance : Franck Amadiou

Adresse:

Université de Toulouse Le Mirail

CLLE-LTC, Maison de la Recherche,

5 allées Antonio Machado,

F - 31058 TOULOUSE Cedex 1 (FRANCE)

e-mail: amadiou@univ-tlse2.fr

Tel: + 33 561 50 35 26

Fax: + 33 561 50 35 33

Résumé : L'article présente un état de l'art des travaux étudiant les effets des connaissances antérieures du domaine des apprenants sur la compréhension et l'apprentissage avec des documents non-linéaires (ex. hypertexte). Le recensement des résultats organisé selon trois dimensions (performance, navigation, désorientation) permet d'aboutir à un ensemble de conclusions convergentes mais aussi divergentes. Les connaissances antérieures offrent des ressources importantes pour le traitement de la non-linéarité des documents se traduisant par de meilleures performances ainsi que des comportements de navigation caractérisés par un certain niveau d'élaboration. En revanche, l'étude de la nature des représentations ou connaissances construites aboutit à un ensemble de résultats inconsistants au même titre que les résultats sur la désorientation des apprenants. Sur la base de ce constat, les limites et besoins méthodologiques comme théoriques sont discutés. En conclusion l'accent est mis sur la nécessité d'approfondir l'analyse des liens existants entre navigation, compréhension et la dynamique des processus.

Non-linear documents comprehension: Which resources are provided by prior knowledge?

Abstract: The current paper exposes a state of the art about works dealing with effects of learners' prior domain knowledge on comprehension and learning from non-linear documents (e.g. hypertexts). The inventory of results which is organized according to three dimensions (performance, navigation, disorientation) leads to a set of convergent conclusions as well as to divergent conclusions. Prior knowledge provides resources to process non-linearity of documents. That is reflected by higher performance and navigation behaviors characterized by a higher level of elaboration. Nevertheless, studies focusing on nature of mental representations or constructed knowledge indicated a set of inconsistent results like results about disorientation. From this observation, limits, methodological and theoretical requirements are discussed. In conclusion, the necessity to conduct further research on relations between navigation, comprehension and dynamic of processes is stressed.

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, le développement des technologies de l'information et de la communication offre de nouvelles situations d'interaction avec l'information. Parmi ces technologies, les documents numériques non-linéaires tiennent une place importante dans les situations de formation, de travail ou encore de gestion documentaire. Ces types de documents sont aujourd'hui principalement incarnés par les dispositifs hypertextuels. Dans cet article, seul le terme de document non-linéaire (DNL) est employé car celui-ci présente l'avantage d'être assez générique pour englober les divers termes employés dans la littérature comme hypertextes, documents hypertextuels ou hypermédias. Les DNL présentent une organisation différente de l'organisation traditionnelle d'un document textuel (i.e. linéaire). Leur non-linéarité renvoie à un ordre de présentation de l'information choisi par l'utilisateur parmi un nombre de choix possibles définis par le concepteur. L'information est organisée en réseau dans lequel les nœuds sont des segments textuels (ex. pages, paragraphes) ; ces nœuds entretiennent, via des liens, des relations généralement d'ordre sémantique (telles que définitions, expansions, exemples, etc.) (Rouet, Levonen, Dillon, & Spiro, 1996). L'interaction avec un document non-linéaire consiste donc à passer d'un segment textuel (*chunk*) à un autre via les liens proposés par le concepteur (Conklin, 1987).

L'utilisation de DNL intervient et a été étudiée dans deux grandes classes de tâches. La première concerne des tâches de recherche d'informations (poursuite d'un but plutôt fermé) au cours desquelles l'utilisateur vise prioritairement la localisation d'une information cible à l'intérieur du document (ex. Ahuja & Webster, 2001 ; Hölscher & Strube, 2000 ; Lazonder, 2000 ; McDonald & Stevenson, 1998 ; Otter & Johnson, 2000). La seconde concerne des tâches de compréhension / apprentissage (poursuite d'un but plutôt ouvert) au cours desquelles l'utilisateur vise plutôt la construction d'une représentation de l'ensemble des contenus d'un document (e. g. de Jong & van der Hulst, 2002 ; Potelle & Rouet, 2003 ; Shapiro, 1998).

Comme le soulignent Rouet et Tricot (1996), contrairement à une tâche de recherche d'information précise, les tâches d'apprentissage ou de compréhension induisent des buts à un haut niveau d'abstraction amenant l'individu à inférer la nature des informations pertinentes pour le but. La tâche de compréhension implique alors généralement une activité d'étude des documents pouvant se traduire par une exploration et une lecture libres des documents dans l'objectif d'atteindre un but ouvert.

Le présent article se centre sur ce second type de tâches et vise à identifier les processus engagés dans le traitement de la non-linéarité de ce type de documents en vue d'élaborer une représentation cohérente du contenu. A cette fin, une analyse des travaux empiriques conduits dans ce domaine est proposée. Elle aboutit à un bilan des connaissances actuellement disponibles sur les effets conjoints de ressources externes à l'apprenant (ici d'ordre matériel : type de guidage apporté par la structure du document par exemple) et de ressources internes à l'apprenant (ici d'ordre cognitif : connaissances antérieures de l'apprenant) sur la compréhension et l'apprentissage à l'aide de DNL. Cette revue de question permet d'identifier les processus cognitifs sollicités dans ce type de tâche et d'extraire les besoins actuels de ce domaine de recherche, tant au niveau méthodologique que théorique. Sur la base des conclusions de cette revue de question, des perspectives de recherche et de développements conceptuels sont présentées.

I. Les traitements cognitifs des documents non-linéaires

Un des avantages majeurs des DNL est d'offrir des organisations et des accès aux informations et aux contenus plus flexibles qu'un support traditionnel (i.e. supports physiques tels que les documents papiers). L'utilisateur d'un DNL dispose d'outils de navigation (ex. liens hypertextuels) lui permettant d'accéder instantanément à partir d'une position dans un document à une information (ex. information ciblée par un lien) en effectuant un choix entre plusieurs liens proposés. A ce titre, les DNL sont mieux à même de s'adapter à la variabilité

inter-individuelle et intra-individuelle des utilisateurs. Cependant, pour l'apprentissage, les traitements de DNL sont depuis longtemps considérés comme plus exigeants cognitivement que les dispositifs papier. Traiter un DNL dans un objectif de compréhension implique différents types d'activités cognitives.

D'une part, le lecteur doit construire des représentations des contenus du document mais aussi de leurs relations (Wenger & Payne, 1996) qui peuvent être de différentes natures (relations d'opposition, d'équivalence, de partie-tout, d'ordination, de référenciations, etc.). Dans un objectif de compréhension de l'ensemble des contenus, il devra également construire une représentation de la macrostructure des contenus. Grâce à une tâche de production de dessins de la structure d'un DNL par les utilisateurs, Gray (1990) a notamment montré que dans le traitement d'un DNL les utilisateurs tentaient dans un premier temps d'appliquer un modèle mental du livre (i.e. linéaire). Ensuite, au fur et à mesure des tâches de recherche effectuées dans le document, leur modèle mental de la structure du document évoluait et tendait vers une structure arborescente dans laquelle les références (liens) transversales étaient peu présentes.

D'autre part, l'activité de traitement des contenus et d'élaboration de représentations est sous-tendue par une activité de navigation dans le document qui implique différents types de processus : processus de sélection de l'information à traiter, traitement spatial du document, construction d'une représentation de son positionnement dans le document et de son parcours. Ainsi, l'activité de navigation dans un DNL sollicite une pluralité de processus qui peuvent mobiliser une quantité importante de ressources cognitives.

Ces différentes activités sont étudiées dans les travaux de recherche en invoquant différents cadres théoriques. Ces cadres se distinguent sur la base des formalismes utilisés (symbolique ou connexionniste), de leur niveau de généralité et enfin des dimensions de l'activité de traitement d'un DNL et de leurs exigences. La plupart des théories invoquées sont des théories générales de la psychologie cognitive dans le sens où elles ont initialement été

conçues pour rendre compte d'activités avec d'autres supports que les DNL. Certains modèles sont invoqués pour décrire les effets de la structure des connaissances antérieures (théorie des schémas) ou les activités cognitivement coûteuses (théorie de la charge cognitive). Cependant, ces modèles renseignent peu sur la nature des processus en jeu et encore moins sur la dynamique de l'activité de compréhension. La théorie des schémas (ou modèle conceptuel de l'expert), principalement invoquée dans les premiers travaux sur les effets des connaissances antérieures dans les DNL (ex. Gall & Hannafin, 1994 ; McDonald & Stevenson, 1998), postule que les experts d'un domaine de connaissances possèdent des structures de connaissances de type schémas qui leur permettent de mettre en œuvre des explorations organisées des contenus d'un DNL et de construire une représentation des contenus en mémoire. En revanche, les processus d'exploration et de traitements des contenus ne sont pas décrits dans ce cadre théorique. Il en est de même pour la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2003) qui s'est développée sur la base de la théorie des schémas et du concept de mémoire de travail. Néanmoins, cette théorie offre un cadre général proposant une distinction entre traitements utiles et inutiles, voire interférents, pour l'apprentissage. Elle répond principalement à des besoins de conception de dispositifs d'enseignement en offrant un cadre intégrateur pour l'étude des activités complexes. A travers ce cadre théorique, la navigation peut être considérée comme une tâche susceptible d'imposer à l'utilisateur une charge cognitive importante (ex. Amadiou, Tricot & Mariné, 2009 ; DeStefano & LeFevre, 2007 ; Gerjets & Scheiter, 2003) et une désorientation (Conklin, 1987 ; Foltz, 1996 ; McDonald & Stevenson, 1998 ; Niederhauser, Reynolds, Salmen, & Skolmoski, 2000 ; Wright, 1991). L'activité de navigation exige de prendre des décisions, de planifier des parcours de lecture et de construire une représentation mentale de la structure du document ce qui peut consommer des ressources en mémoire et détourner l'utilisateur des traitements sémantiques des contenus.

Pour répondre à des besoins de description des processus et de leur dynamique, les modèles issus des recherches en psycholinguistique sur la compréhension de textes tel le modèle Construction-Intégration (Kintsch, 1988) sont davantage appropriés. Basé sur une modélisation néo-connexionniste, le modèle Construction-Intégration décrit les mécanismes de construction et d'intégration de représentations sur la base des informations contenues dans le texte et la base de connaissances du lecteur. Parce que le traitement d'un DNL implique la construction et l'organisation de relations sémantiques (Dillon & Vaughan, 1997), les modèles de compréhension de texte permettent d'interpréter la nature des processus de construction des représentations des contenus en distinguant les niveaux micro et macrostructuraux ainsi qu'un niveau de surface (base de texte) et un niveau plus profond (modèle de situation) (ex. Hofman & van Oostendorp, 1999 ; Potelle & Rouet, 2003 ; Shapiro, 1999). En outre, ils permettent de mieux comprendre l'impact négatif des traitements discontinus des contenus (ex. sauts thématiques impliquant des difficultés à détecter les relations sémantiques entre les nœuds) sur les processus de construction de représentations mentales cohérentes (Baccino, Salmerón, & Cañas, 2008 ; Salmerón, Cañas, Kintsch, & Fajardo, 2005 ; Salmerón, Kintsch, & Cañas, 2006 ; Storrer, 2002).

Pour rendre compte plus spécifiquement des processus de compréhension de DNL, le modèle de compréhension de documents multiples apporte actuellement un cadre théorique plus spécifique que les modèles classiques de compréhension de texte (Jamet, Bétrancourt, & Rouet, 2008 ; Perfetti, Rouet, & Britt, 1999; Rouet, 2006). Selon ce modèle, la représentation mentale de chaque document (modèle de document) comprend une composante « source » appelée modèle intertexte (information sur l'auteur, contexte de production du document, nature du document, type de langage...) et une composante « contenu » correspondant au modèle de situation. Dans les réseaux conceptuels du lecteur, des connexions entre des composants de source et des composants de contenu existent. Les sources sont connectées en

un « modèle source ». La représentation mentale des documents construite par le lecteur n'a pas besoin d'être cohérente et peut comprendre des contradictions car les situations sont associées aux informations sur les sources. Ce modèle enrichit donc la compréhension de la pluralité des représentations construites en mémoire à partir de documents multiples et complexes. Cependant, ce modèle, à l'instar des modèles classiques de compréhension de textes, ne nous renseigne pas directement sur les processus de construction de la navigation et des parcours de lecture dans un DNL.

Au plan appliqué, deux types principaux de guidage sont conçus et évalués pour répondre aux exigences cognitives de traitement des DNL. Le premier, centré sur la navigation, consiste à limiter les choix proposés à l'utilisateur afin de réduire les coûts liés à la prise de décision de sélection ou construction d'un parcours dans le document (ex. parcours de lecture imposé). Ce guidage renvoie donc au degré de liberté des parcours dans l'espace de navigation d'un DNL. Le second, centré sur la présentation de la structure des contenus du document, se traduit par un dispositif affichant l'organisation sémantique et/ou fonctionnelle d'un document (ex. cartes conceptuelles, organisateurs avancés). A l'aide de ce type de guidage, l'apprenant peut construire une représentation mentale de la macrostructure du document à partir de laquelle il pourra organiser ses traitements des contenus (Chmielewski & Dansereau, 1998 ; Robinson & Kiewra, 1995) et sa navigation dans le document (de Jong & van der Hulst, 2002 ; Foltz, 1996 ; Puntambekar, Stylianou, & Hübscher, 2003). En effet, présenter la structure des contenus dirige l'attention du lecteur sur la structure conceptuelle profonde du document et l'amènerait à construire une représentation mentale intégrée qui reflèterait l'organisation du contenu conceptuel (Lorch & Lorch, 1995). Classiquement, ce type de guidage est incarné par un schéma ou un diagramme, appelé carte des contenus, et qui prend souvent une forme hiérarchique. Selon le type de structure des contenus présentée (ex. index, hiérarchique, réseau), les traitements des DNL seront plus ou moins facilités.

En l'absence de guidage suffisant, le traitement d'un DNL exige des ressources cognitives importantes (Naumann, Richter, Flender, Christmann, & Groeben, 2007). Celles-ci sont diverses et font l'objet de nombreux travaux (pour des revues de questions voir, Amadiou & Tricot, 2006 ; Chen & Rada, 1996 ; Dillon & Gabbard, 1998 ; Downing, Moore, & Brown, 2005 ; Shapiro, 2008 ; Shapiro & Niederhauser, 2004). Dans le présent article, nous privilégions l'examen des effets des connaissances antérieures qui constituent un concept central de nombreux modèles d'apprentissage - notamment la théorie ACT-R (Anderson, 1996), la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2003), ou la théorie cognitive des apprentissages multimédias (Mayer, 2009) - ainsi que de modèles de compréhension, comme le modèle Construction-Intégration (Kintsch, 1988). Les connaissances antérieures peuvent référer dans la littérature à divers concepts ou dimensions, tels que « expertise », « schémas », « base de connaissances », « expériences antécédentes », ou « compétences ». Dans la suite de cet article, nous utiliserons le terme de connaissances antérieures pour désigner les connaissances préalables que possède l'apprenant du domaine traité par le DNL. Ces connaissances du domaine sont dynamiques, structurées, peuvent exister sous divers formes (i.e. déclarative, procédurale et conditionnelle), être explicites et tacites et contenir des composants de connaissances conceptuelles et métacognitives (Dochy, Rijdt, & Dyck, 2002). Dans cet article, l'ensemble des travaux menés sur les effets des connaissances antérieures dans le traitement de DNL à des fins de compréhension et d'apprentissage ont été recensés. Les études croisant le niveau de connaissances antérieures et le niveau de guidage dans les documents (degrés de liberté dans l'espace de navigation et types de structure présentée) ont été retenues afin d'identifier les effets des connaissances selon le niveau d'exigences cognitives imposé par le document. Néanmoins, certains travaux menés sur un seul type de DNL ont été également pris en compte afin d'enrichir notre compréhension des effets des connaissances dans le traitement de la non-linéarité.

II. Rôle des connaissances antérieures : revue des principales données empiriques

Dans cette section, sont présentés les résultats des études menées sur les effets des connaissances antérieures dans la compréhension et l'apprentissage avec des DNL (hypertextes ou hypermédias). L'objectif de cette analyse est d'extraire les grands patterns de résultats, leur degré de réplication et les conditions de manifestation des effets observés.

La sélection de ces études a été opérée selon plusieurs critères. Tout d'abord, seules les études examinant les effets des connaissances antérieures du domaine des utilisateurs ont été retenues. Ensuite, parce que l'objet de cet article concerne les tâches d'apprentissage et de compréhension, les études présentant des tâches de recherche d'information dans les DNL ont été ignorées, à l'exception de l'étude de Patel, Drury et Shalin (1998) qui évalue un apprentissage incident des participants après avoir utilisé un DNL pour répondre à des problèmes posés. Enfin, seules les études présentant des analyses quantitatives sont exposées dans le tableau de synthèse. Les résultats de trois études qualitatives seront toutefois exposés dans la description des résultats (i.e. Last, O'Donnell, & Kelly, 2001 ; Mishra & Yadav, 2006 ; Rezende & de Souza Barros, 2008).

Sur la base de ces critères, 25 études empiriques ont été retenues pour analyse. A l'exception de huit études (Balcytiene, 1999 ; Carmel, Crawford, & Chen, 1992 ; Ford & Chen, 2000 ; Le Bigot & Rouet, 2007 ; Salmerón, Baccino, & Cañas, 2006 ; Salmerón *et al.*, 2005 ; Salmerón, Kintsch *et al.*, 2006 ; Zeller & Dillenbourg, 1997), la majorité des études recensées a conçu des dispositifs expérimentaux croisant le niveau de connaissances antérieures avec le type de dispositif de guidage (soit le degré de liberté dans l'espace de navigation, soit le type de structure présentée). L'examen des effets d'interaction permet de tester les effets des connaissances antérieures selon le niveau d'exigences de la tâche manipulé par la nature du guidage. Pour cette raison, sur la base de la nature des guidages employés dans les études, la présentation des travaux est organisée en trois tableaux : le Tableau 1 présente cinq travaux

ayant étudié l'interaction entre le niveau de connaissances et le degré de liberté dans l'espace de navigation ; le Tableau 2 expose douze travaux ayant étudié l'interaction entre le niveau de connaissances et le type de structure présentée ; enfin le Tableau 3 ne comprend que les travaux conduits sur des documents présentant un seul type de structure.

Les trois tableaux de synthèse des recherches empiriques sont organisés de la même manière. D'une part, chaque tableau distingue les travaux ayant mesuré les performances globales de compréhension et d'apprentissage (présentés dans un premier temps) des travaux ayant mesuré différents types de représentations mentales construites par les apprenants (présentés dans un second temps). D'autre part, chaque tableau est organisé en 6 colonnes. La 1^{ère} colonne indique la référence de l'étude et l'effectif de l'échantillon. La 2^{ème} colonne indique le domaine de connaissances concerné ainsi que les modalités d'opérationnalisation des connaissances antérieures. La plupart des dispositifs d'expérimentation impliquent la participation d'étudiants (21 études) et concernent des connaissances déclaratives (24 études) issues de domaines divers (biologie, productivité, histoire, procédures d'utilisation d'un logiciel, programmation informatique, pollution...). La variable « connaissances antérieures » est manipulée le plus souvent en contrastant deux groupes de niveaux différents de connaissances (22 études). Selon les études, les niveaux de connaissances antérieures sont soit mesurés - par des tests d'évaluation - soit invoqués - en recrutant des participants selon leur appartenance à des populations différentes. La 3^{ème} colonne présente le type de guidage étudié : degrés de liberté dans l'espace de navigation (navigation contrainte vs. libre) ou types de structure présentée (réseau, linéaire, hiérarchique ou encore mixte¹). Les colonnes 4, 5 et 6 présentent les résultats obtenus pour les trois types de variables dépendantes. (a) La performance en sortie qui renseigne sur la nature des représentations mentales construites par

¹ Une structure en réseau présente un ensemble de relations sémantiques entre les unités de contenu du document. Une structure hiérarchique présente une organisation des unités de contenus par catégories. Une structure mixte (ou hybride) présente les unités de contenus par catégories ainsi que des relations sémantiques transversales aux catégories.

les apprenants. Ces performances sont évaluées par des questions fermées (QCM) ou ouvertes. Plus rarement, les mesures employées sont des tâches de rappel, de résumé ou des tâches de résolution de problème. (b) La navigation/parcours de lecture (mesures on-line) qui renseigne sur le processus de navigation et de compréhension. Le terme de navigation, traditionnellement employé dans la littérature du domaine, désigne tout type de comportements observables en cours d'interaction avec le document. Selon les objectifs de l'étude, l'activité de navigation est appréhendée par diverses techniques (enregistrement *on-line* des actions et temps d'utilisation des éléments du document, entretiens post-tâche indicés ou non avec la navigation enregistrée) et divers indicateurs (séquences des parcours, utilisation de certaines fonctions, temps de lecture, nombre de nœuds visités...). (c) La dimension charge cognitive/désorientation qui renseigne sur la nature des difficultés et coûts cognitifs des processus pour l'apprenant. Les techniques de mesure de la charge cognitive ou de la désorientation sont généralement subjectives utilisant des échelles de Likert administrées consécutivement à la tâche d'apprentissage ou des entretiens a posteriori. Seule l'étude de Zeller et Dillenbourg (1997) introduit un indicateur objectif de la désorientation (proportion de « balayages » dans la navigation). En italique sont indiquées les relations entre deux des trois dimensions lorsque les études les examinent (ex. relations entre performances et parcours de lecture). Notons que les résultats présentés correspondent aux résultats statistiquement validés et non à des conclusions parfois optimistes de certains auteurs. Les tailles d'effet et coefficients de corrélation sont mentionnés lorsque disponibles.

Les hypothèses testées dans ces études convergent vers la prédiction d'effets positifs du guidage pour les apprenants de faible niveau de connaissances et la prédiction d'effet négatif ou d'absence d'effet de ces dispositifs pour les apprenants de haut niveau de connaissances. En d'autres termes, en l'absence de connaissances antérieures suffisantes, il est attendu qu'un dispositif de guidage permette à l'apprenant de construire des connaissances plus élaborées,

de suivre des parcours de lecture organisés et cohérents et de réduire sa désorientation dans les documents. A l'inverse, lorsque les connaissances antérieures de l'apprenant sont importantes, l'absence de guidage pourrait faciliter la construction de nouvelles connaissances car l'apprenant construirait son propre parcours sur la base de son propre modèle mental du domaine et selon ses besoins.

Dans un premier temps, les principaux résultats obtenus sur des mesures de performances de compréhension et d'apprentissage sont présentés et discutés car, pour la plupart des travaux, la performance est la principale variable dépendante étudiée. En effet, les mesures en sortie fournissent le principal indicateur du niveau de compréhension atteint et restent parfois même la seule mesure de l'étude. Dans un second temps sont présentés et discutés, les effets constatés sur des mesures *on-line* et de désorientation.

Tableau 1 : synthèse des travaux expérimentaux sur les effets des connaissances antérieures et du degré de liberté dans l'espace de navigation.

Etude	Connaissances antérieures Domaine	Type de guidage	Résultats obtenus		
			Performances de compréhension ou d'apprentissage	Navigation et traitements <i>on-line</i>	Désorientation & Charge Cognitive
Baylor (2001) N = 75	Non mentionnée <i>Utilisation d'Internet pour l'éducation</i>	<u>Degré de liberté dans l'espace de navigation</u> : - Linéaire - Non-linéaire	Mesure globale des performances Effet de la structure <i>ns</i> Corrélation positive entre K et performances (expliquer point principal, $r = 0,395$; génération d'exemple, $r = 0,262$)		Effet des K <i>ns</i> Effet de la structure <i>ns</i> <i>Désorientation négativement corrélée avec les performances (expliquer point principal, $r = -.247$; génération d'exemples, $r = -.223$)</i>
Gay (1986) N = 80	<u>Mesurées</u> : 23 items sur le processus de synthèse des protéines <i>Biologie: Structure ADN et processus de synthèse des protéines</i>	<u>Degré de liberté dans l'espace de navigation</u> : contrôle par le système vs. contrôle par l'apprenant de la séquence, de la profondeur et de la quantité et du mode de présentation des informations	Mesure globale des performances <u>HK</u> : effet de la structure <i>ns</i> <u>FK</u> : séquence imposée > séquence libre		
Lee & Lee (1991) N = 56	<u>Mesurées</u> : Pré-test <i>Transformations chimiques</i>	<u>Degré de liberté dans l'espace de navigation</u> : - Séquence des tâches d'apprentissage imposée - Séquence libre	Mesure globale des performances <u>FK</u> : séquence imposée > séquence libre <u>HK</u> : effet de la structure <i>ns</i>		
Recker & Pirolli (1995) N = 16	<u>Mesurées</u> : Habilité de programmation (Erreurs sur une leçon de programmation antérieure à la tâche d'apprentissage) <i>Récurtivité dans la programmation</i>	<u>Degré de liberté dans l'espace de navigation</u> : - Linéaire - Non-linéaire	Mesure globale des performances <u>Structure non-linéaire</u> : HK > FK <u>HK</u> : semblent tirer avantage du système non-linéaire <u>FK</u> : tirent avantage du système linéaire		
Müller-Kalthoff & Möller (2006) N = 36	<u>Mesurées</u> : 6 QCM <i>Psychologie de la mémoire</i>	<u>Degré de liberté dans l'espace de navigation</u> : - DNL hiérarchique avec condition « libre » - vs. « contrainte » entre 2 moitiés du document	Mesure des niveaux de représentation <u>K factuelles</u> : Corrélations positives entre K et K factuelles ($r = 0,72$) <u>K structurales</u> : Absence de corrélation entre K et K structurales dans la condition contrainte ($r = -.10$), corrélation significative dans la condition libre ($r = .76$)	<u>Nombre de pages ouvertes & temps moyen de lecture de chaque page</u> : Effets <i>ns</i>	- Structure contrainte < structure libre - <i>Corrélation ns entre désorientation et K</i> - <i>Corrélation ns entre désorientation et performances</i>

Tableau 2 : synthèse des travaux expérimentaux sur les effets des connaissances antérieures et du type de structure présentée.

Etude	Connaissances antérieures <i>Domaine</i>	Type de guidage	Résultats obtenus		
			Performances de compréhension ou d'apprentissage	Navigation et traitements <i>on-line</i>	Désorientation & Charge Cognitive
Calisir & Gurel (2003) N = 30	<u>Invoquées</u> : Cours de productivité (HK) vs. pas de cours de productivité (FK) <i>Productivité</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Linéaire - Hiérarchique - Mixte (hiérarchie + liens transversaux)	Mesure globale des performances FK : Linéaire < Hiérarchie ou Mixte HK : effet de la structure <i>ns</i>	Effets <i>ns</i> <i>Aucune relation avec les performances</i>	<u>Contrôle perçu</u> : Effets <i>ns</i> <i>Aucune relation avec les performances</i>
Calisir, Eryazici & Lehto (2008) N = 40	<u>Invoquées</u> : Background d'ingénierie industrielle (HK) vs. non (FK) <i>Productivité</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Linéaire - Hiérarchique - Mixte (hiérarchie + liens transversaux) - Génératif (linéaire avec prise de notes)	Mesure globale des performances HK > FK Effet de structure <i>ns</i>	<u>Nombre de nœuds ouverts différents</u> FK > HK dans la condition hiérarchie <u>Nombre de nœuds ouverts de manière répétée</u> : effets <i>ns</i>	<u>Contrôle perçu</u> : Effets <i>ns</i>
Patel, Drury & Shalin (1998) N = 24	<u>Invoquées</u> : Expérience avec l'éditeur présenté (HK) vs. pas d'expérience (FK) <i>Fonctionnement d'un éditeur de texte (WordPerfect)</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Index alphabétique - Hiérarchie + Explorateur sémantique	Mesure globale des performances <u>Rappel</u> - HK > FK - Structure sémantique > alphabétique	<u>Nombre de nœuds uniques visités</u> : HK < FK <u>Temps par nœud</u> : HK < FK <u>Redondance</u> : FK : hiérarchie > index HK : pas d'effet	<u>Sentiment de pouvoir retracer son parcours</u> : hiérarchie > Index
Shin, Schallert & Savenye (1994) N = 110	<u>Mesurées</u> : Questionnaire (pré-test: 4 questions ouvertes + 8 QCM) <i>Catégories des aliments</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Réseau - Hiérarchie <u>Conseils sur la séquence à suivre</u> - Conseils - Pas de conseils	Mesure globale des performances HK > FK FK : hiérarchie > réseau HK : pas d'effet de la structure FK et HK : effet des conseils <i>ns</i>	FK : patterns moins stables FK & HK : forte similarité des parcours	<u>Difficulté perçue</u> : Effets <i>ns</i>
Hofman & van Oostendorp (1999) N = 40	<u>Mesurées</u> : 10 QCM <i>Effets des radiations des ultra-violet sur les cancers et brûlures de la peau</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Carte des relations causales - Liste	Mesure des niveaux de représentation FK : La carte réduit les scores du modèle de situation (micro-niveau) HK : pas d'effet de la structure		
Müller-Kalthoff & Möller (2004) N = 99	<u>Mesurées</u> : 20 QCM <i>Mémoire et apprentissage</i>	<u>Structure des contenus</u> : - Résumé textuel - Explorateur textuel - Résumé graphique - Explorateur graphique - Pas de vue d'ensemble	Mesure des niveaux de représentation <u>Post-test</u> : HK > FK (pour toutes les mesures : base de texte, modèle de situation, micro- et macrostructure)		

Müller-Kalthoff & Möller (2003) N = 82	Mesurées : 11 QCM <i>Mémoire et apprentissage</i>	Présentation de la structure des contenus : - Vue d'ensemble hiérarchique - Pas de vue d'ensemble	Mesure des niveaux de représentation FK : effet de la structure <i>ns</i> HK : effet de la structure <i>ns</i> K factuelles : HK > FK K structurales : HK > FK		Désorientation - Effet des K <i>ns</i> - Vue d'ensemble < absence de vue d'ensemble
Amadiou, van Gog, Paas, Tricot & Mariné (2009) N = 24	Mesurées : 10 QCM Biologie : <i>processus de multiplication d'un virus</i>	Structure des contenus : - Réseau - Hiérarchique	Mesure des niveaux de représentation Gain K factuelles : FK > HK HK : hiérarchie > réseau FK : <i>ns</i> Gain K conceptuelles : FK > HK HK : <i>ns</i> FK : hiérarchie > réseau	Durées moyennes de fixations - FK : Hiérarchie > Réseau - HK : effet de structure <i>ns</i> % de fixations sur les pré-requis - Hiérarchie : effet des K <i>ns</i> - Réseau : HK > FK % de fixations sur les macro-informations - Hiérarchie : FK > HK - Réseau : effet des K <i>ns</i>	Effort mental pour apprendre : Effet des K <i>ns</i> Effet de la structure <i>ns</i> Désorientation : FK : réseau > hiérarchie HK : effet de la structure <i>ns</i> Effort mental pour comprendre la carte : Hiérarchie > Réseau
Amadiou, Tricot & Mariné (2009) N = 54	Mesurées : Question ouverte Biologie : <i>processus de multiplication d'un virus</i>	Structure des contenus : - Réseau - Hiérarchique	Mesure des niveaux de représentation Rappel : Réseau : HK > FK (<i>d</i> de Cohen = 0,78) FK : Hiérarchie > réseau (<i>d</i> de Cohen = 0,67) HK : effet de structure <i>ns</i> Gain K factuelles : <i>ns</i> Gain K conceptuelles : HK > FK (<i>f</i> de Cohen = 0,35)	Cohérence des parcours (temporo-causale) : Hiérarchie > Réseau (<i>f</i> de Cohen = 1,35) - Réseau : HK > FK (<i>d</i> de Cohen = 0,54) - Hiérarchie : effet des K <i>ns</i>	Effort mental pour apprendre : Effet des K <i>ns</i> Effet de la structure <i>ns</i> Désorientation : Effet des K <i>ns</i> Réseau > Hiérarchie (<i>f</i> de Cohen = 0,58)
Amadiou, Tricot & Mariné (2010) N = 37	Mesurées : 8 QCM Biologie : <i>processus de multiplication d'un virus</i>	Structure des contenus : - Réseau - Hiérarchique	Mesure des niveaux de représentation Base de texte : FK : Hiérarchie > réseau (η^2 partiel = 0,14) Réseau : HK > FK (η^2 partiel = 0,27) Modèle de situation : FK : Hiérarchie > réseau (η^2 partiel = 0,12) Réseau : HK > FK (η^2 partiel = 0,14)	Cohérence temporo-causale des parcours : Hiérarchie > Réseau (η^2 partiel = 0,88) Cohérence thématique des parcours : Hiérarchie > Réseau (η^2 partiel = 0,89) - Réseau : HK > FK (η^2 partiel = 0,12) - Hiérarchie : FK > HK (η^2 partiel = 0,11)	Désorientation : Effet des K <i>ns</i> Réseau > Hiérarchie (η^2 partiel = 0,32) FK : réseau > hiérarchie (η^2 partiel = 0,38) HK : effet de la structure <i>ns</i> Réseau : FK > HK (η^2 partiel = 0,09) Hiérarchie : <i>ns</i>
Potelle & Rouet (2003) N = 47	Mesurées : 16 QCM <i>Influence sociale</i>	Structure des contenus : - Hiérarchique - Réseau - Liste	Mesure des niveaux de représentation FK : hiérarchie > réseau et liste pour la macrostructure (base de texte et modèle de situation) et les scores de résumé HK : effet de la structure <i>ns</i>		
Shapiro (1999) N = 46	Mesurées : Tâche de classification de cartes (animaux) Test de connaissances sur les écosystèmes (seuls les novices sont retenus) <i>Animaux (famille vs. écosystème)</i>	Structure des contenus : 2 vues d'ensemble interactives (carte) organisées selon écosystèmes ou taxonomie animale	Mesure des niveaux de représentation Base de texte : <i>ns</i> Modèle de situation FK sur les écosystèmes : carte écosystème > carte taxonomie sur performances questions écosystème HK sur les écosystèmes : effets <i>ns</i>	Les parcours de lecture s'organisent sur la base du type de carte	

Tableau 3 : synthèse des travaux expérimentaux sur les effets des connaissances antérieures dans un type de document non-linéaire.

Etude	Connaissances antérieures <i>Domaine</i>	Type de guidage	Résultats obtenus		
			Performances de compréhension ou d'apprentissage	Navigation et traitements <i>on-line</i>	Désorientation & Charge Cognitive
Balcytiene (1999) N = 38	Mesurées : Pré-test <i>Style gothique en art</i>	Un seul DNL : - Document linéaire (papier) - DNL (hiérarchique)	Mesure globale des performances Reconnaissance du style : Documents papier et DNL : Gain : LK > HK	-Parcours systématique -Parcours systématique vs. exploratoire (pas de constance dans les parcours) -Exploration selon préférences puis parcours systématique	
Ford & Chen (2000) N = 65	Mesurées : Questionnaire sur l'expérience avec les contenus <i>Création de pages Web en HTML</i>	Un seul DNL : Structure hiérarchique avec ensemble d'outils de navigation (vue d'ensemble, index, menu, boutons suivant/précédent, hyperliens).	Mesure globale des performances Corrélation négative entre K et gains d'apprentissage ($r = -0,26$)	HK : - Plus de pages visités ($r = 0,35$) - Moins de pages relues ($r = -0,32$) - Temps d'apprentissage ($r = -0,39$) et de réalisation de la tâche plus courts ($r = -0,47$) - Exploration plus en profondeur de la hiérarchie ($r = 0,40$) - Moins de demande d'aide ($r = -0,31$)	
Le Bigot & Rouet (2007) N = 52	Mesurées : Pré-test (16 QCM) <i>L'influence sociale</i>	Un seul type de structure (liste) : liste alphabétique des thèmes vs. des sources (7 textes)	Mesure des niveaux de représentation Base de texte (macrostructure) : HK > FK Autres : ns	Temps de lecture des textes : FK > HK	
Salmerón, Baccino & Cañas (2006) N = 28	Auto-rapportées : Evaluation par le participant de ces connaissances sur une échelle (0-10) Oubli, apprentissage, renaissances et éclipses	Un seul DNL : Vue d'ensemble hiérarchique + sections de texte (parcours contraints)	Mesure des niveaux de représentation Lorsque les séquences de lecture imposées sont peu cohérentes : Base de texte : FK : scores positivement corrélés avec temps de traitements des cartes dans une seconde lecture HK : scores négativement corrélés avec temps de traitements des cartes dans une seconde lecture Modèle de situation : ns.	FK : Traitement plus long des textes peu cohérents lors d'une seconde lecture HK : Traitement plus long des textes peu cohérents lors d'une première lecture	
Salmerón, Kintsch & Cañas (2006)	Exp. 1 (N = 71) Mesurées : 8 questions vrai-faux <i>Pollution atmosphérique</i>	Un seul DNL : 27 nœuds avec chacun 2 liens (1 lien vers un nœud très cohérent et 1 lien vers un nœud peu cohérent)	Mesure des niveaux de représentation Base de texte : HK > FK	FK:(modèle de situation) stratégie basée sur la cohérence > stratégies basée sur l'intérêt HK : pas d'effet de la stratégie de parcours sur la compréhension	
	Exp. 2 (N = 152) <i>Ibid.</i>	<i>Ibid.</i>	Mesure des niveaux de représentation Base de texte : effets ns Modèle de situation : HK > FK (Jugements des relations entre concepts)	FK : (questions d'inférences) forte cohérence > faible cohérence HK : (questions d'inférences) faible cohérence > forte cohérence	

Salmerón, Cañas, Kintsch & Fajardo (2005)	Exp. 1 (N = 41)	<p><u>Mesurées :</u> 8 questions vrai-faux</p> <p><i>Pollution atmosphérique</i></p>	<p><u>Un seul DNL :</u> Vue d'ensemble hiérarchique interactive</p>	<p>Mesure des niveaux de représentation</p> <p>Pas de test des VIs sur les performances</p>	<p><u>FK :</u> un nombre de textes lus important entraîne de meilleurs scores de base de texte</p> <p><u>HK :</u> pas d'effet du nombre de texte lus sur les performances</p>	
	Exp 2 (N = 82)	<p><i>Ibid.</i></p>	<p><u>Un seul type de structure (matrice):</u> 2 vues d'ensemble organisées en matrice (organisation cohérente vs. peu cohérente)</p>	<p>Mesure des niveaux de représentation</p> <p><u>Base de texte :</u> HK > FK</p>	<p>Pas d'effet des K sur la cohérence</p> <p><u>FK :</u> (modèle de situation) bénéficient de parcours cohérents</p> <p><u>HK :</u> (modèle de situation) bénéficient de parcours peu cohérents</p>	
Carmel, Crawford & Chen (1992) N = 31	<p><u>Mesurées :</u> Pré-test (participants : 10 HK, 16 FK, 5 non-classés)</p> <p><i>Histoire : guerre du Vietnam</i></p>	<p><u>Un seul DNL :</u> Plusieurs fonctions de navigation (retour, liens transversaux, index, catégories d'informations)</p>		<p><u>HK :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Font moins de sauts d'un thème à un autre - Explorent plus en détails un même thème - Explorent plus de thèmes liées aux connaissances et raisonnements des experts 		
Zeller & Dillenbourg (1997) N = 24	<p><u>Mesurées :</u> Pré-test (= post-test)</p> <p><i>L'électrocardiogramme</i></p>	<p><u>Un seul DNL :</u> Index et une carte</p>		<p><u>FK :</u> plus de réouvertures de nœuds</p> <p><u>FK & HK :</u> Parcours basés sur la structure du DNL</p>	<p><u>Désorientation (proportion de balayages) :</u> FK > HK</p>	

K = Connaissances

HK : Haut niveau de connaissances

FK : Faible niveau de connaissances

ns : Résultats non significatifs

1. Effets d'interactions entre connaissances antérieures et guidages sur les performances

Cette section s'organise en deux parties. La première discute les résultats obtenus par les études ayant employé une mesure globale de l'apprentissage ou de la compréhension. Ces études concernent à la fois des travaux manipulant le degré de liberté dans l'espace de navigation des documents que des travaux manipulant le type de structure présentée. La seconde partie traite des résultats plus informatifs sur la nature des connaissances et représentations construites. Certains travaux ont en effet étudié la nature des performances en distinguant des types de connaissances ou représentation des contenus, à savoir les connaissances basées sur le texte (connaissances factuelles, base de texte) et les connaissances basées sur l'élaboration de liens non explicites entre les informations issues de différents nœuds (connaissances conceptuelles, connaissances structurales, modèle de situation). Certains travaux ont distingué également la construction de la microstructure et de la macrostructure des informations dans les représentations mentales. Les résultats sur ces différents niveaux de représentation mentale sont majoritairement fournis par les études menées sur les effets du type de structure présentée.

a) Effets des connaissances antérieures sur les performances globales

Comme l'indiquent certaines études menées uniquement auprès d'apprenants ayant de faibles connaissances antérieures (ex. de Jong & van der Hulst, 2002 ; Dee-Lucas & Larkin, 1999), l'introduction de dispositifs de guidage présentant la structure conceptuelle des DNL (ex. structuration hiérarchique des contenus) ou limitant la liberté de navigation (ex. espace de navigation linéaire) est susceptible de favoriser les performances de compréhension et d'apprentissage.

Au regard des études recensées dans cet article, la plupart des travaux tendent à confirmer que les apprenants de faible niveau de connaissances bénéficient de ces guidages. En revanche, les

apprenants de haut niveau de connaissances semblent obtenir des performances équivalentes dans les différentes conditions de guidage, que ce guidage renvoie au degré de liberté dans l'espace de navigation ou au type de structure présentée.

Pour ce qui concerne le degré de liberté dans l'espace de navigation (Tableau 1), plusieurs travaux confirment que le guidage des parcours traduit par des parcours contraints favorise les performances ou l'efficacité des apprenants de faible niveau de connaissances alors que ce guidage se révèle sans effet pour les apprenants de plus haut niveau de connaissances (Gay, 1986 ; Lee & Lee, 1991 ; Recker & Pirolli, 1995). Ces études illustrent également un effet positif des connaissances antérieures sur les performances lorsque le document ne présente pas de guidage alors que cet effet disparaît avec l'ajout d'un guidage. Seule l'étude de Baylor (2001) présente des relations positives entre performances d'apprentissage et connaissances antérieures quel que soit le degré de liberté dans l'espace de navigation. Ces études attestent donc du besoin de réduction de l'exigence de navigation et d'autorégulation pour les apprenants de faible niveau de connaissances d'une part, de l'importance des connaissances antérieures pour atteindre de bonnes performances en cas d'exigences fortes de navigation d'autre part (absence de guidage). Les connaissances antérieures permettraient de mettre en œuvre des processus utiles pour conduire l'activité de navigation et construire une représentation élaborée des contenus.

En ce qui concerne les effets du type de structure présentée (Tableau 2), les travaux font le plus souvent l'hypothèse d'un effet positif d'une structure signifiante pour le lecteur telle qu'une structure hiérarchique. Britt, Rouet et Perfetti (1996) ont par exemple montré que lorsqu'un DNL proposait une organisation aléatoire entre les textes, les lecteurs utilisaient davantage la table des contenus que les liens directs entre les textes, ceci afin d'établir la cohérence globale du DNL. En d'autres termes, les informations relatives à la structure de haut niveau d'un DNL ont un rôle important pour les lecteurs dans la construction d'une

représentation globale et cohérente des contenus. Les travaux étudiant les effets du type de structure d'un DNL présentent des patterns de résultats semblables à ceux obtenus par les travaux menés sur le degré de liberté dans l'espace de navigation. Shin, Schallert et Savenye (1994) comme Calisir et Gurel (2003) ont indiqué, un effet positif d'une structure de type hiérarchique (ou mixte) sur les performances des apprenants de faible niveau de connaissances, mais une absence d'effet du type de structure sur les performances des apprenants de plus haut niveau de connaissances. Notons que l'étude de Calisir, Eryazici et Lehto (2008), similaire à celle de Calisir et Gurel (2003), ne réplique que partiellement ce type de résultat ; seul un effet principal positif du niveau de connaissances sur les scores de compréhension est obtenu. L'étude de Patel *et al.* (1998) met également en avant un effet principal positif des connaissances antérieures sur les performances lors d'un test d'apprentissage incident. Leur étude conclut également à un effet principal positif d'une structure hiérarchique, mais ne montre cependant aucune interaction entre le type de structure présentée et le niveau de connaissances. Ces premiers résultats démontrent d'une part, l'effet positif de la présentation d'une structure signifiante des contenus d'un DNL pour les apprenants ayant peu de connaissances, et d'autre part, le rôle positif des connaissances antérieures dans le traitement d'un DNL, en particulier en l'absence d'une telle structure. Cependant, lorsque l'on s'intéresse à la nature des connaissances acquises, plusieurs travaux viennent moduler cet effet d'interaction en exposant une variation des patterns de résultats selon le type de connaissances évaluées. Ces résultats sont examinés dans la section suivante.

b) Effets des connaissances antérieures sur les types de représentations construites

Depuis quelques années, les travaux dans le domaine des apprentissages avec des DNL tiennent de plus en plus compte des différents niveaux de connaissances ou niveaux de représentation des contenus construits par les apprenants. La principale distinction repose sur une opposition entre les connaissances basées sur des informations explicitement exposées

dans un nœud du document – connaissances ne nécessitant pas d'activité inférentielle importante et se rapprochant d'une activité de mémorisation –, et les connaissances construites sur la base d'informations distribuées dans plusieurs nœuds du document – connaissances nécessitant une activité inférentielle importante afin de construire les relations conceptuelles entre les informations. Les mesures évaluant le premier type de connaissances sont généralement des questions nécessitant la récupération en mémoire d'informations littérales, tandis que les mesures évaluant le second type de connaissances sont généralement des questions exigeant d'avoir inféré les relations sémantiques entre des informations issues de nœuds différents.

Cette prise en compte des types de connaissances prend tout particulièrement place dans les études faisant référence aux modèles de compréhension de textes comme le modèle de Construction-Intégration de Kintsch (1988) qui distingue deux niveaux de représentation d'un texte : la base de texte (représentation basée sur les informations du texte) et le modèle de situation (représentation intégrant les informations du texte et les connaissances en MLT du lecteur). La prise en compte de ces types de connaissances permet donc d'évaluer les niveaux de traitement qui ont été engagés dans la tâche de compréhension - apprentissage et d'identifier sur quel niveau de traitement les connaissances antérieures exercent leur action. A l'exception de l'étude de Müller-Kalthoff et Möller (2006), toutes les études mesurant différents niveaux de représentation des contenus manipulent le type de structure présentée (Tableau 2) et non le degré de liberté dans l'espace de navigation.

Au regard des différents résultats exposés dans le tableau de synthèse, les patterns se révèlent assez disparates entre les études. Plusieurs études (Amadiou, Tricot & Mariné, 2010 ; Amadiou, van Gog, Paas, Tricot & Mariné, 2009 ; Müller-Kalthoff & Möller, 2006 ; Shapiro, 1999) ont répliqué pour les connaissances profondes (i.e. modèle de situation) le type d'interaction entre le type de structure présentée et les connaissances antérieures observée sur

les mesures globales de l'apprentissage. Cependant, ces études ne s'accordent pas sur les résultats observés pour le niveau base de texte. Si aucun effet n'a été observé par Shapiro (1999) sur le niveau de compréhension de surface (i.e. base de texte), les études de Müller-Kalthoff et Möller (2006) et d'Amadiou *et al.* (2010) ont constaté un effet positif des connaissances antérieures sur ce niveau de représentation. Des résultats relativement proches ont été obtenus dans une étude qualitative menée auprès de quatre participants par Mishra et Yadav (2006). Amadiou, van Gog *et al.* (2009) ont quant à eux révélé un effet positif d'une structure hiérarchique pour les apprenants de haut niveau de connaissances sur les scores de base de texte. Une interprétation proposée par les auteurs est que les apprenants de haut niveau de connaissances possédaient au préalable de l'apprentissage une représentation de la macrostructure du domaine et aurait ainsi consacré plus de temps au traitement des informations de la microstructure de la base de texte.

D'autres travaux ont davantage mis en évidence un effet principal des connaissances antérieures. Müller-Kalthoff et Möller (2003, 2004) n'ont constaté qu'un effet principal positif du niveau de connaissances antérieures sur les mesures de base de texte et de modèle de situation. Amadiou, Tricot *et al.* (2009) ont également observé un effet principal positif des connaissances antérieures sur les mesures du modèle de situation. En revanche, dans leur étude, la seule interaction observée entre niveau de connaissances et type de structure présentée concernait les scores de rappel indiquant un rappel facilité par la structure hiérarchique pour les apprenants de faible niveau de connaissances alors que les performances des apprenants de haut niveau de connaissances n'étaient pas modifiées par le type de structure.

Quelques travaux ont souligné la nécessité de considérer le niveau de structure des représentations mentales en plus des niveaux base de texte et modèle de situation (Hofman et van Oostendorp, 1999 ; Le Bigot & Rouet, 2007 ; Potelle & Rouet, 2003). Potelle et Rouet

(2003) ont montré qu'une structure hiérarchique entraînait de meilleurs résultats qu'une structure en réseau pour des lecteurs de faible niveau de connaissances, aussi bien pour la base de texte que pour le modèle de situation, mais que cet effet n'était constaté que pour le niveau macrostructural de la représentation du contenu. Hofman et van Oostendorp (1999) en revanche ont observé qu'une carte conceptuelle (vs. liste) pouvait gêner la construction d'un modèle de situation au niveau microstructural pour des apprenants de faible niveau de connaissances. Ces deux études s'accordent néanmoins pour montrer que le type de structure présentée n'a aucun effet pour les lecteurs de haut niveau de connaissances, quelles que soient les connaissances évaluées.

Quelques travaux menés sur un seul type de DNL (Tableau 3) ont produit des résultats sur les effets des connaissances antérieures sur les différents niveaux de représentation. Le Bigot et Rouet (2007) ont par exemple confirmé l'importance des connaissances pour la construction du niveau macrostructural. En effet, leurs résultats ont indiqué un effet positif des connaissances antérieures sur la construction de la base de texte et non du modèle de situation mais uniquement pour le niveau macrostructural. Les travaux de Salmerón et coll. ont montré que les connaissances antérieures augmentaient soit les scores de base de texte (Salmerón *et al.*, 2005, seconde expérience ; Salmerón, Kintsch *et al.*, 2006, première expérience), soit les scores de modèle de situation (Salmerón, Kintsch *et al.*, 2006, seconde expérience).

*c) **Conclusion***

Au final, il est difficile d'établir un constat clair concernant les niveaux de représentations sensibles aux effets d'interaction entre les connaissances antérieures et le type de structure présentée. Néanmoins, indépendamment du niveau de représentation concerné, les résultats empiriques attestent dans l'ensemble d'une disparition des effets de guidage (degré de liberté dans l'espace de navigation ou type de structure présentée) pour les apprenants de haut niveau de connaissances. Les connaissances antérieures des apprenants leur permettraient de mettre

en œuvre les traitements cognitifs nécessaires pour répondre aux exigences imposées par les DNL, au niveau intra-texte (contenu interne à une section de texte) comme inter-texte (relations entre contenus de différentes sections de texte). Comme pour les tâches de compréhension de textes (ex. McNamara & Kintsch, 1996), les connaissances antérieures permettraient donc un traitement efficace des ruptures de cohérence dans les DNL grâce à une activité inférentielle importante. De surcroît, certains travaux ont mis en évidence l'importance des traitements engagés dans la construction de la structure des représentations mentales et du rôle majeur des connaissances antérieures pour la construction de la macrostructure (ou superstructure) des contenus d'un DNL.

Le manque d'homogénéité des résultats relatifs aux effets des connaissances antérieures sur le type de connaissances acquises peut trouver des explications dans la diversité méthodologique des études. La diversité de l'étendue des documents étudiés ou encore la nature différente des domaines de connaissances réduit la comparabilité des résultats. Cette comparabilité est également entravée par l'absence de paradigme systématique dans la comparaison des effets des guidages et des connaissances antérieures. La nature de ces comparaisons peut en effet affecter les résultats et leur interprétation. Par exemple, les structures linéaires des contenus étudiées dans plusieurs travaux ne renvoient pas à des organisations sémantiques comparables. En outre, certains travaux n'ont pas présenté de description précise des documents (caractérisation des contenus, des relations sémantiques entre unités) et par conséquent ne proposent pas de formalisme de la tâche de compréhension ou d'apprentissage. Cette description parfois insuffisante rend difficile l'identification de la nature des processus comme des connaissances ou représentations construites. En outre, lorsque sont étudiées les interactions entre niveaux de connaissances antérieures et types de structure des DNL, les effets simples permettant d'interpréter ces interactions ne sont pas systématiquement les mêmes d'une étude à l'autre. Certaines analyses se centrent sur l'effet du guidage selon le

niveau de connaissances antérieures alors que d'autres se centrent à l'inverse sur l'effet du niveau de connaissances antérieures selon le guidage. En outre, les faibles effectifs et le manque de détails des conditions d'expérimentation de certaines études amènent parfois à ne pas rejeter l'hypothèse nulle (erreur de type II) et ainsi réduit la validité des comparaisons entre études.

On note également que certains travaux effectuent des mesures de performances immédiates à la tâche d'apprentissage sans évaluer un gain d'apprentissage grâce à une comparaison des scores post-test/pré-test. Or, tenir compte d'un gain de connaissances pourrait révéler l'existence d'un effet plafond de l'apprentissage chez les apprenants de haut niveau de connaissances. Si certains mettent en avant une relation positive entre connaissances antérieures et performances en sortie (ex. Baylor, 2001), d'autres travaux ont constaté un gain de connaissances plus important pour les apprenants de faible niveau de connaissances antérieures (Amadiou, van Gog *et al.*, 2009 ; Balcytiene, 1999 ; Mitchell, Chen & Macredie, 2005 ; Ford & Chen 2000). Par ailleurs, certaines études ont utilisé un même test pour évaluer à la fois les connaissances antérieures et les performances d'apprentissage sans pour autant mesurer de gains d'apprentissage (ex. Müller-Kalthoff & Möller, 2003 ; Shin *et al.*, 1994).

Ces premiers constats sur les effets du guidage et des connaissances antérieures sur les performances de compréhension et d'apprentissage nous éclairent sur le rôle des connaissances antérieures dans le traitement des documents non-linéaires, mais ne permettent toutefois pas d'identifier clairement la nature des processus engagés dans la tâche, ni des exigences imposées par la non-linéarité de tels documents. La considération des activités de navigation et des coûts cognitifs peut dans ce cas renseigner sur la nature des processus sous-tendant l'activité de compréhension et d'apprentissage.

2. Effets des connaissances antérieures sur la navigation et les traitements *on-line*

La conception des DNL doit prendre en compte les stratégies de lecture des utilisateurs dans de tels environnements (Rouet *et al.*, 1996). Il est donc primordial que les travaux de recherche étudient ces différentes stratégies en considérant les déterminants de ces stratégies (facteurs externes et internes) mais aussi les conséquences en termes d'apprentissage et d'efficacité d'utilisation des systèmes. Bien que la littérature n'offre pas encore de véritable modèle théorique de l'interaction de l'apprenant avec les DNL et des processus cognitifs sous-jacents dans une tâche de compréhension, de plus en plus de données empiriques sont à disposition et nous éclairent sur l'activité de navigation dans ce type de documents numériques.

Pour l'étude des interactions entre l'utilisateur et les DNL, un ensemble d'indicateurs sont disponibles. En plus des indicateurs et méthodes classiques employés dans les travaux sur la compréhension de textes (temps de lecture, protocoles verbaux, paradigme de double tâche, *probing*), Rouet et Passerault (1999) ont catégorisé les mesures employées dans le champ de recherche sur les interactions avec les DNL en trois niveaux de granularité : (a) à un niveau global, les représentations et stratégies des utilisateurs peuvent être analysées (ex. temps d'utilisation, de lecture, nombre d'ouvertures, séquences d'actions ou de pages visitées ou encore évaluation des représentations mentales à l'aide de production de dessins de la structure du document), (b) à un niveau intermédiaire, les mesures permettent de tester des hypothèses spécifiques sur les processus cognitifs en œuvre durant l'interaction (stratégie de segmentation - le protocole d'interaction est segmenté en épisodes -, ou stratégie de sélection - le chercheur identifie des éléments critiques dans le protocole-), (c) à un niveau fin, les mesures servent à tester des caractéristiques spécifiques d'une interface (toutes les actions observables sont prises en compte). Pour la problématique qui nous intéresse, les niveaux moyen et global sont plus appropriés car ils permettent l'identification de patterns, de

stratégies de navigation et de représentations mentales. Le niveau global se retrouve plus facilement dans les études exploratoires.

Les études recensées dans cet article ont évalué la navigation et les comportements de lecture principalement à l'aide de mesures *on-line* correspondant à des enregistrements de l'activité d'interaction. Certaines ont ajouté des mesures *off-line* telles que le recueil de protocoles verbaux lors d'entretiens postérieurs à la tâche. Les études utilisant ces deux types de mesures restent rares (ex. Carmel *et al.*, 1992) et généralement qualitatives (Last *et al.*, 2001 ; Mishra & Yadav, 2006). Enfin, quelques travaux ont introduit l'analyse des mouvements oculaires pour comprendre les traitements des structures affichées des documents (Amadiou, van Gog *et al.*, 2009) ou les temps de traitement des textes selon la cohérence des parcours de lecture (Salmerón, Baccino *et al.*, 2006).

a) **Mise en œuvre de stratégies de navigation selon le niveau de connaissances antérieures**

Les études traitant du degré de liberté dans l'espace de navigation n'ont pas analysé les interactions des apprenants avec les documents, à l'exception de l'étude de Müller-Kalthoff & Möller (2006), qui d'ailleurs n'a indiqué aucun effet significatif. La plupart des données de navigation sont tirées des travaux menés sur le type de structure présentée (Tableau 2) ou ayant utilisé un seul type de DNL (Tableau 3). Ces travaux tendent à montrer qu'en l'absence de connaissances antérieures suffisantes, les apprenants ont besoin d'établir une représentation du document à travers une exploration en largeur des thèmes et de leurs relations (i.e. exploration des informations principales des thèmes). A l'inverse, les apprenants de haut niveau de connaissances chercheraient davantage à approfondir certains thèmes du domaine (i.e. exploration de l'ensemble des informations d'un thème) à travers la mise en œuvre de stratégies plus élaborées et moins guidées par la structure présentée. Carmel *et al.* (1992) ont par exemple observé que les apprenants de faible niveau de connaissances faisaient

davantage de sauts d'un thème à l'autre, utilisaient plus les liens référentiels et exploraient plutôt les thèmes principaux, alors que les apprenants de plus haut niveau de connaissances, poursuivaient des explorations plus complètes et profondes d'un même thème. Récemment, l'introduction d'analyses des mouvements oculaires a mis en évidence qu'en début de tâche de lecture, les connaissances antérieures soutenaient la sélection d'informations pré-requises dans une structure en réseau et conduisaient à une attention moins importante allouée aux macro-informations représentées par les catégories sur-ordonnées d'une structure de type hiérarchique (Amadiou, van Gog *et al.*, 2009). Ford et Chen (2000) ont observé des corrélations positives entre les connaissances antérieures et des comportements de navigation plus élaborés (moins de pages relues, exploration plus en profondeur, moins de demande d'aide) et la rapidité de réalisation de la tâche d'apprentissage. Sur ce dernier point, il apparaît que les connaissances antérieures amènent en effet des temps plus courts de lecture des nœuds d'information (Le Bigot & Rouet, 2007 ; Patel *et al.*, 1998). Ce type de résultat est en cohérence avec les effets positifs des titres sur les temps de lecture de textes ; les connaissances activées par la lecture d'un titre favorisent la mise en œuvre ultérieure de traitements efficaces du texte au niveau intégratif comme lexical (Wiley & Rayner, 2000).

D'autres travaux, plus qualitatifs, vont dans le sens d'une navigation guidée par les connaissances en montrant qu'un manque de connaissances conduit les apprenants à poursuivre des stratégies peu élaborées (stratégies méthodiques et exhaustives), alors qu'un haut niveau de connaissances favorise l'emploi de stratégies moins erratiques (Mishra & Yadav, 2006) et plus élaborées comme la recherche de contenus d'intérêt ou familiers (Last *et al.*, 2001). Dans une étude qualitative menée auprès de 8 participants, Rezende et de Souza Barros (2008) ont identifié trois profils de navigation en fonction du niveau de connaissances antérieures : navigation « organisée » pour les apprenants de plus haut niveau de

connaissances, navigation « conceptuelle » pour les apprenants de niveau intermédiaire et navigation « désorientée » pour les apprenants de faible niveau de connaissances.

Or, bien que ces résultats suggèrent que les apprenants de haut niveau de connaissances soient capables de construire leurs parcours en s'abstrayant de la structure fournie par le système, d'autres études indiquent des navigations similaires entre apprenants de niveaux différents de connaissances (Shin *et al.*, 1994). Il semble que les apprenants puissent produire des parcours similaires basés sur un suivi exhaustif de la structure de type hiérarchique ou matrice (Amadiou, Tricot *et al.*, 2009 ; Foltz, 1996 ; Salmerón *et al.*, 2005 ; Shapiro, 1999 ; Zeller & Dillenbourg, 1997). Zeller et Dillenbourg (1997) ont par exemple montré que l'exploration séquentielle (suivi de la structure) par les apprenants dans une tâche à but ouvert s'effectuait principalement par l'utilisation de liens génériques (tourner la page) plutôt que de liens nominatifs (indiquant le contenu de la page cible). Les parcours des apprenants semblent donc être construits sur la base des organisations (ex. catégories) des contenus des DNL (Shapiro, 1999).

b) L'analyse des parcours comme traitement de la cohérence des contenus des documents non-linéaires

En référence à des modèles de compréhension de texte, certains travaux ont étudié la nature des parcours de lecture sous l'angle de la cohérence de ces derniers. En effet, un des traitements nécessaires à l'élaboration d'une représentation structurée et cohérente d'informations non-linéaires est l'établissement de connexions sémantiques entre ces informations. Pour établir une cohérence entre les informations localisées dans des pages différentes, le lecteur doit construire un parcours de lecture approprié, c'est-à-dire respectant les relations sémantiques entre les informations qu'il cherche à connecter. Dans les travaux recensés, la cohérence établie par les lecteurs est généralement référentielle (ex. Salmerón *et al.*, 2005 ; Salmerón, Kintsch *et al.*, 2006), temporo-causale (Amadiou, Tricot *et al.*, 2009) ou

encore thématique (Amadiou *et al.*, 2010). Les études d'Amadiou, Tricot *et al.* (2009) et d'Amadiou *et al.* (2010) ont abouti à des résultats en accord avec les travaux montrant des parcours plus élaborés chez les apprenants de haut niveau de connaissances, c'est-à-dire que la cohérence des parcours réalisés dans des structures de type réseau était plus forte chez les apprenants de haut niveau de connaissances.

Si ces travaux corroborent des traitements actifs basés sur les connaissances antérieures orientant l'activité de navigation et de prise d'information, les travaux de Salmerón *et coll.* (Salmerón *et al.*, 2005 ; Salmerón, Kintsch *et al.*, 2006) menés sur la cohérence référentielle des parcours n'ont pas indiqué d'effet des connaissances antérieures sur le niveau de cohérence des parcours de lecture. Ces deux études ont en revanche montré que le suivi de séquences de lecture cohérentes favorisait l'élaboration d'un modèle de situation pour les lecteurs de faible niveau de connaissances tandis que l'inverse était observé pour les lecteurs de haut niveau de connaissances. En outre, les connaissances antérieures permettraient aux lecteurs d'identifier des textes organisés de manière peu cohérente et ainsi d'y consacrer des temps de traitement plus importants alors que les lecteurs de faible niveau de connaissances auraient besoin de traiter une première fois les textes avant de pouvoir traiter les ruptures de cohérence (Salmerón, Baccino *et al.*, 2006). Dans le cas d'apprenants de faible niveau de connaissances, Madrid, van Oostendorp et Melguizo (2009) ont montré l'exigence des traitements des ruptures de cohérence. Lorsque ces apprenants poursuivaient des parcours peu cohérents, leur temps de réaction à une double tâche durant la lecture des textes était plus long que lorsqu'ils poursuivaient des parcours cohérents.

c) Conclusion

Lorsque les DNL présentent des structures peu informatives sur la macrostructure des contenus (ex. structure de type réseau), les études recensées montrent que les stratégies des apprenants de haut niveau de connaissances peuvent être caractérisées par leur profondeur et

leur niveau d'élaboration (ex. construction de parcours cohérents). Les connaissances antérieures seraient particulièrement sollicitées lorsque l'activité de navigation est exigeante. Un faible niveau de connaissances antérieures conduit les apprenants à l'emploi de stratégies peu élaborées (i.e. systématiques ou de surface) qui s'organiseraient sur la base des indices de structure du document. Toutefois, lorsque les documents présentent la macrostructure des contenus (i.e. hiérarchie, matrice), les parcours peuvent être équivalents entre apprenants car organisés sur une exploration systématique de la structure. Néanmoins, d'après les travaux de Salméron *et coll.*, un même parcours observé peut impliquer des traitements différents selon le niveau de connaissances et conduire à des niveaux de traitements différents. Les travaux sur la cohérence des parcours apparaissent prometteurs mais ne permettent pas encore de déterminer clairement si la compréhension est soutenue par une cohérence forte des séquences de lectures ou si inversement la cohérence des séquences de lecture est la résultante d'une compréhension efficace.

Dans l'ensemble, les études se centrent davantage sur la description des différences de comportements observables que sur l'investigation des processus cognitifs qui les sous-tendent. Les relations entre navigation et performances sont d'ailleurs encore mal identifiées. Certains travaux n'ont observé aucune relation entre performances et actions de navigation (Ahuja & Webster, 2001 ; Otter & Johnson, 2000), ce qui souligne la difficulté d'établir des indices comportementaux (traces de navigation) des processus et des coûts de ces processus. Un développement conceptuel de l'activité de navigation dans un DNL et de la compréhension des contenus de ce type de document devrait permettre l'élaboration d'indicateurs plus valides et informatifs. En ce sens, il serait pertinent de dépasser des mesures quantitatives trop générales comme les temps globaux de consultation (pour une présentation et critique des méthodes d'analyse de parcours, voir Amadiou, Bastien, & Tricot, 2008). Ce type de mesure ne révèle que peu de chose sur les processus engagés dans l'activité

et reçoit parfois des interprétations différentes de la part des auteurs. Par exemple, les temps de navigation sont utilisés par Nilsson et Mayer (2002) comme pondérateur dans la mesure de la performance, alors qu'ils sont considérés par Kraus, Reed et Fitzgerald (2001) comme un facteur positif dans le sens où les utilisateurs qui consacrent le plus de temps à l'activité sont ceux qui explorent le plus.

Enfin, parce que les processus cognitifs requis sont fonction des caractéristiques techniques (ex. outils d'exploration, type d'interaction) comme sémantiques (ex. granularité de l'information, organisation conceptuelle) des documents, les informations peu précises sur les caractéristiques des documents utilisés ne permettent par toujours une véritable analyse cognitive de la tâche. Ceci rend par conséquent difficile l'identification des traitements engagés dans la tâche de navigation dans les documents étudiés.

3. Effets des connaissances antérieures sur la désorientation

La tâche de navigation à travers un « hyper-espace » serait une tâche coûteuse et générerait une désorientation chez l'utilisateur. Conklin (1987, p. 38) définit cette désorientation comme la difficulté à savoir où l'on est dans le réseau et comment atteindre un autre endroit dans le réseau. Cette désorientation se traduit par ce que Foltz (1996) appelle une charge navigationnelle. Pour les apprenants de faible niveau de connaissances, le guidage fourni par la structure présentée réduirait la surcharge cognitive liée à des facteurs navigationnels et donc réduirait le risque d'être perdu (ex. Last *et al.*, 2001). En l'absence de guidage, il est souvent avancé que les apprenants de haut niveau de connaissances rencontreraient une désorientation moins importante grâce à leur base de connaissances (ex. Mohageg, 1992). Les structures de connaissances permettraient d'identifier les relations entre les contenus et la structure globale du document et ainsi faciliteraient l'orientation dans le document.

Les études ayant mesuré la charge cognitive ou la désorientation restent minoritaires (12 études sur les 25 études recensées). Parmi les travaux n'ayant observé aucun effet sur les

mesures de désorientation, nous pouvons citer par exemple Calisir et Gurel (2003) ou Calisir *et al.* (2008). Ces études ont indiqué que le contrôle perçu par l'apprenant sur son traitement du document (mesure assimilable à un indice de désorientation) n'était pas influencé par le niveau des connaissances antérieures, ni par le type de structure présentée (linéaire, hiérarchique, hiérarchique avec liens transversaux). D'autres travaux ont montré en revanche un effet du guidage sur la désorientation perçue. L'étude de Patel *et al.* (1998) a indiqué un effet réducteur d'une structure hiérarchique sur la désorientation. Pour leur part, Müller-Kalthoff et Möller (2003) ont obtenu des résultats signalant que la désorientation perçue était réduite par une carte de navigation mais pas par les connaissances antérieures alors même que ces dernières favorisaient la performance d'apprentissage. Ces mêmes auteurs (Müller-Kalthoff & Möller, 2006) ont répliqué l'effet du guidage sur la désorientation en manipulant le degré de liberté dans l'espace de navigation. D'autres travaux ont confirmé une réduction de la désorientation grâce à une structure de type hiérarchique, surtout pour les apprenants de faible niveau de connaissances (Amadiou, Tricot *et al.*, 2009 ; Amadiou *et al.*, 2010). Dans leur étude qualitative, Mishra & Yadav (2006) tendent aussi à montrer une réduction de la désorientation liée aux connaissances antérieures.

Au vu de cette hétérogénéité des résultats, l'effet de la désorientation comme variable intermédiaire expliquant les effets des connaissances antérieures sur les performances d'apprentissage reste donc à démontrer. L'étude de Baylor (2001) illustre la difficulté à prouver une telle relation. Des analyses corrélationnelles ont révélé une relation négative entre désorientation et apprentissage et une relation positive entre connaissances antérieures et apprentissage. Toutefois, les analyses ne valident pas de relation entre connaissances antérieures et désorientation. Au final, peu d'études ont mesuré une éventuelle charge cognitive ou désorientation dans les apprentissages avec des DNL et lorsque des mesures sont faites, l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation utilisées gêne considérablement la

comparaison entre les études. Aujourd'hui encore, la désorientation est souvent inférée des performances ou des comportements de navigation, avec un risque d'erreur d'interprétation de ces comportements. En outre, l'utilisation fréquente de mesures subjectives pose de nombreuses limites méthodologiques (pour une présentation de ces limites, voir Cegarra & Chevalier, 2008). Dans le domaine de la recherche d'information dans des DNL, certains travaux ont construit des échelles de mesure de la désorientation subjective (Ahuja & Webster, 2001 ; Otter & Johnson, 2000) tandis que d'autres ont développé des mesures objectives sur la base des comportements de navigation (Gwizdka & Spence, 2007). Un emploi plus systématique de ce type de mesures apporterait une plus grande validité aux résultats relatifs à la désorientation et permettrait une meilleure comparabilité entre études. La poursuite d'un travail de développement des méthodes et techniques de mesures de ces concepts apparaît donc primordiale.

III. Discussion des résultats et perspectives

1. Synthèse des résultats

Dans l'ensemble, les connaissances antérieures apparaissent comme des ressources internes permettant à l'apprenant de s'abstraire des exigences de navigation (i.e. exigences d'auto-contrôle des parcours) ou du type de structure organisant sémantiquement les contenus (i.e. réseau, linéaire, hiérarchie). En d'autres termes, les connaissances antérieures du domaine autorisent la mise en œuvre de traitements nécessaires à la compréhension de DNL. Ces traitements n'entraînent toutefois pas de performances plus importantes que les traitements engagés dans la compréhension de documents structurés plus hiérarchiquement. Cette conclusion est confortée par plusieurs résultats indiquant que les connaissances antérieures n'exerceraient un effet sur les performances que lorsque les documents présentent une forte non-linéarité. La prise en compte des types de représentations mentales que les apprenants ont construites des contenus se révèle assez peu informative dans l'ensemble en raison d'un

manque de convergence des résultats. Cependant, quelques travaux ont mis en avant l'importance des connaissances antérieures dans l'activité mentale de construction d'une représentation de la macrostructure des DNL.

Les résultats sur les mesures *on-line* renseignent sur le type de navigation poursuivie par les apprenants selon leur niveau de connaissances antérieures et apportent des données plus directes que les performances de compréhension et d'apprentissage pour identifier des processus reposant sur les connaissances antérieures. En l'absence de connaissances antérieures suffisantes ou adaptées, les apprenants mettraient en œuvre des stratégies de parcours ou d'utilisation des DNL sur la base d'indices de surface (ex. recouvrement d'argument, liens organisationnels) et chercheraient à explorer de manière exhaustive et séquentielle les documents dans le but d'identifier les grands thèmes de ces derniers. En revanche, les connaissances antérieures, lorsque suffisantes, guideraient les parcours de navigation des apprenants. Certains travaux ont mis en évidence des stratégies basées sur l'intérêt et sur l'exploration en profondeur de thèmes et la construction de séquences de lecture organisées autour d'un maintien de la cohérence du domaine.

Malgré ces premières conclusions, de nombreuses questions demeurent sur le rôle des connaissances antérieures dans la sélection des liens et la construction des parcours de lecture. En effet, les travaux de Salmerón et collaborateurs mettent en avant des effets modulés des parcours de lecture sur les performances de compréhension en fonction du niveau de connaissances antérieures des lecteurs. Un même comportement de navigation observé peut renvoyer à des processus différents. Les connaissances antérieures ne seraient pas dans ce cas un guide pour l'exploration du document mais une ressource de traitement des ruptures de cohérence dans les parcours de lectures et donc une ressource pour faire face aux exigences de lecture d'un DNL. Ce constat interroge sur les réels effets des connaissances antérieures sur la navigation : les connaissances antérieures structurent-elles les explorations des documents ou

jouent-elles uniquement un rôle de compensation des traitements supplémentaires imposés par les séquences de lecture ?

En ce qui concerne les données sur la charge cognitive ou la désorientation, les quelques travaux ayant mesuré la désorientation n'apportent pas véritablement de nouveaux éléments. Les résultats présentés ne vérifient pas clairement un effet réducteur des connaissances antérieures sur la charge cognitive ou la désorientation. Le manque de convergence de certains résultats peut trouver une part d'explication dans certaines limites théoriques ; ce point est abordé dans la partie suivante.

2. Un besoin de développement d'un cadre théorique

Comme souligné par plusieurs auteurs (Azevedo & Jacobson, 2008 ; Dillon & Gabbard, 1998), les études quantitatives dans le domaine des DNL n'ont pas toujours présenté une grande rigueur méthodologique et ne sont pas systématiquement guidées par un modèle ou une théorie. Nous pensons que les limites méthodologiques discutées dans les sections précédentes trouvent pour partie leur origine dans des limites d'ordre théorique. L'insuffisance de cadrage théorique de ces travaux peut s'expliquer par le caractère pluridisciplinaire de la problématique de recherche, le caractère exploratoire de certaines études ou encore le fait que les connaissances antérieures ne soient qu'une variable secondaire de l'étude voire même une simple variable contrôlée.

En outre, les effets des connaissances antérieures peuvent se manifester de façon directe et indirecte. En effet, certaines variables peuvent expliquer la relation entre les connaissances antérieures et les performances comme l'intérêt (Alexander, Kulikowich, & Jetton, 1994 ; Murphy & Alexander, 2002) ou les compétences métacognitives (Moos & Azevedo, 2008). Les processus cognitifs liés aux connaissances antérieures ne sont donc pas toujours clairement identifiés car extrêmement divers (Dochy *et al.*, 2002). Le besoin de cadres

conceptuels centrés sur les processus cognitifs associés aux connaissances antérieures dans le traitement de DNL est important.

Afin d'enrichir nos connaissances sur ces traitements et les modèles existants, il apparaît important d'accorder davantage d'attention à l'articulation entre les processus de compréhension (construction de représentations en mémoire) et de navigation (sélection des parties d'un document, organisation d'un parcours de lecture, nature des buts poursuivis dans la navigation). Enfin, l'étude des problèmes de désorientation et de charge cognitive peuvent contribuer à identifier la nature des relations entre performances de compréhension et navigation. Nous proposons dans la section suivante des perspectives de développements tant théoriques que méthodologiques pour l'étude des processus cognitifs engagés dans le traitement des DNL.

3. Perspectives de développements théoriques et méthodologiques

a) Activité de navigation

Pour répondre aux besoins d'étude des processus de navigation dans un DNL, certains modèles développés pour des tâches de recherche d'information dans les DNL offrent un cadre plus pertinent que les modèles présentés dans la section I du présent article. Le modèle ESP (Evaluating, Selecting, Processing) de Rouet et Tricot (1996) ou encore le modèle TRACE (Task-based Relevance Assessment & Content Extraction) de Rouet (2006), décrivent l'activité de recherche d'information comme une activité cyclique, dynamique et opportuniste. Ces modèles introduisent la notion de buts comme guide de l'activité de navigation. L'étude de l'activité de navigation sous-tendant une tâche de compréhension bénéficierait donc de l'identification des buts et sous-buts construits et poursuivis par les lecteurs (ex. buts centrés sur la compréhension comme maintenir la cohérence avec la représentation en mémoire, buts centrés sur les attributs du document comme identifier la taille du document, buts centrés sur la gestion de l'activité comme réduire une désorientation

perçue). Cette perspective d'étude des sous-buts est d'autant plus importante qu'une variabilité des résultats des études recensées peut être due pour partie à la diversité des tâches d'apprentissage (i.e. buts ouverts) qui entraînerait une grande variabilité de comportements chez les apprenants.

Sur ces questions, le rôle des connaissances antérieures est essentiel, car la nature des sous-buts produits par les lecteurs est différente selon le niveau de connaissances. Les travaux empiriques ont documenté ce point en indiquant que les connaissances antérieures favorisaient, entre autres, la poursuite de buts d'intérêt pour les contenus et ainsi des explorations plus en profondeur des contenus. Ceci suggère que les connaissances antérieures permettraient la production de sous-buts plus élaborés et un meilleur maintien en mémoire de différents sous-buts (ex. planification d'une séquence de buts), mais aussi une sélection plus efficace des liens.

Une partie des futurs travaux devrait donc être consacrée à l'étude des processus de sélection des liens. Ces processus seraient guidés par l'adéquation du traitement du lien au but poursuivi par le lecteur (i.e. consulter une unité de contenu sémantiquement reliée à l'unité qui vient d'être traitée dans le but de maintenir une cohérence). Le modèle CoLiDeS (*Comprehension-based Linked model of Deliberate Search*) développé par Kitajima, Blackmon et Polson (2000) répond très bien à l'analyse des processus de sélection. En effet, dans une tâche de localisation d'une information, ce modèle rend compte de processus de sélection d'un objet d'une page Web selon la force du degré de liaison entre l'objet et le but de l'utilisateur (degré de similarité : LSA, fréquence et appariement littéral).

Pour identifier la nature des buts produits, des processus de sélection des liens et de leur dynamique au cours de l'activité de lecture, une méthode de recueil de protocoles verbaux indicés sur l'activité (voir van Gog, Paas, Van Merriënboer, & Witte, 2005) devient nécessaire. L'analyse des protocoles verbaux fournit en effet une description des processus

cognitifs particulièrement intéressante, mais face au coût de ce type d'analyse, on constate que les méthodes de verbalisation sont uniquement employées dans les études qualitatives, limitant ainsi la généralisation de certains résultats. Comme le soulignent Rouet et Passerault (1999), les protocoles verbaux fournissent une description qualitative des processus et en particulier des stratégies, mais souffrent de plusieurs limites (reflètent des processus nécessitant un contrôle attentionnel, peuvent interférer avec la tâche principale, peuvent refléter l'interprétation de l'utilisateur de son activité plus que l'activité elle-même).

Relativement aux processus de sélection, les prochaines études devraient interroger les types d'inférences produites sur la base des connaissances antérieures sur le traitement d'un lien hypertextuel et tenir compte des différentes fonctions informatives que peuvent remplir les liens à l'instar des titres (Lemarié, Lorch, Eyrolle, & Virbel, 2008). L'analyse de la cohérence des parcours de lecture et la nature de cette cohérence (ex. causale, temporelle, spatiale) peuvent aider à identifier la nature des inférences.

Enfin, un point important concerne la prise en compte de l'évolution, de la dynamique de ces processus durant l'activité. A l'exception de l'étude de Salmerón, Baccino *et al.* (2006), les travaux utilisent des mesures de navigation moyennées sur l'ensemble de l'activité et ainsi perdent des informations précieuses sur la nature de la navigation. Il est crucial que les travaux à venir poursuivent l'étude des modifications de buts, des processus de sélection et plus largement des stratégies de lecture tout au long de l'activité.

b) Étudier la construction des représentations construites

Nombre des travaux recensés dans cet article ont évalué différents types de représentations mentales des contenus en distinguant la base de texte et le modèle de situation ou encore le niveau micro- et macrostructural. Il semble que les travaux prenant en compte la macrostructure aboutissent à des conclusions plus convergentes en montrant que la construction d'une représentation globale de l'organisation sémantique des informations reste

particulièrement exigeante dans un DNL et que les connaissances jouent un rôle important dans la construction de ce type de représentation. L'analyse des mouvements oculaires se révèle une technique intéressante pour poursuivre l'étude des traitements de la macrostructure. Elle peut renseigner sur les temps de traitements des différents signaux du document ainsi que sur l'ordre de la prise d'information réalisée sur l'affichage d'une structure d'un document par exemple. Néanmoins, la construction de la macrostructure par les lecteurs n'interviendrait que pour le traitement de DNL peu étendus et présentant des contenus intégrés.

Dans le cas de documents offrant un ensemble important de ressources indépendantes, d'autres types de représentations seraient plus appropriés telles que le concept de modèle documentaire impliquant par exemple une représentation des sources et de leur validité (Rouet, 2006). La représentation du document peut également comprendre des caractéristiques du document telles que sa taille, ses fonctions, son organisation, la nature des informations disponibles.... Si l'apprenant doit élaborer une représentation du document et de ses contenus, il est aussi amené à construire une représentation de sa propre activité (estimation du coût cognitif de certains traitements, souvenir épisodique de parcours pris ou des utilisations effectuées, ou encore trace des traitements réalisés à certains points du document). Enfin, dans le but de mieux comprendre l'activité de traitement des DNL dans son ensemble, il est important que davantage de travaux analysent avec précision les relations existant entre les représentations mentales construites au cours de l'activité et les processus de navigation et de traitement des contenus.

c) **Développer le concept de désorientation**

La question de la désorientation reste importante car elle peut susciter un sentiment de frustration et une baisse de l'intérêt (McDonald & Stevenson, 1998). Il est donc nécessaire de développer et d'enrichir ce concept qui reste appréhendé dans sa globalité avec des limites

théoriques et méthodologiques fortes. Une piste d'évolution du concept consisterait à s'engager dans une approche de la désorientation mettant l'accent sur les traitements sémantiques responsables de la désorientation. Pour Dillon et Vaughan (1997), il conviendrait d'ajouter des mesures évaluant l'organisation des relations sémantiques construites par l'utilisateur, et du sens de l'ordre perçu. Ces auteurs ont introduit le concept de « forme » (*shape*) comme étant une propriété d'information qui est transmise à la fois par la forme physique et par le contenu d'information, ces deux éléments étant selon eux sûrement indissociables. L'appariement entre l'espace sémantique et l'espace physique devrait être étroit dans des domaines restreints impliquant par exemple des menus hiérarchiques, mais ce couplage peut être diminué avec l'étendue des documents. L'incapacité de l'utilisateur à relier les différents concepts présentés dans un DNL renvoie à ce que Cress & Knabel (2003) nomment une désorientation conceptuelle, en distinction d'une désorientation structurale (i.e. liée à l'espace physique du document). Les traitements spatiaux restent néanmoins des traitements importants pour l'orientation dans les DNL complexes. Les travaux de Vörös (2009) ont indiqué que la construction d'une métaphore spatiale, favorisée par des capacités spatiales importantes du lecteur ou des organisateurs graphiques, contribue à une meilleure navigation. En fait, la désorientation devrait être appréhendée selon une approche multidimensionnelle déjà présente dans certains travaux sur l'étude de la charge cognitive (DeLeeuw & Mayer, 2008 ; van Gog & Paas, 2008). Par exemple, la distinction des traitements rétrospectifs (ex. processus de recollection des parcours, des contenus traités antérieurement) et prospectifs (inférences sur les contenus ciblés par un lien, planification d'un parcours de lecture) contribueraient à la description des exigences d'orientation dans les DNL et donc des problèmes de désorientation.

4. Conclusion

L'étude des traitements de la non-linéarité des documents est un champ de recherche auquel la psychologie cognitive peut apporter des connaissances méthodologiques comme théoriques. Les travaux en psychologie cognitive doivent poursuivre l'investigation des liens existants entre processus de compréhension et processus de navigation, ainsi que les rôles des connaissances antérieures. Pour se faire, une voie consiste à s'intéresser à l'intentionnalité impliquée dans les processus de navigation et la manière dont les connaissances antérieures entraînent la production de buts différents. Si les travaux tendent à montrer une production de buts plus élaborés chez les apprenants de haut niveau de connaissances, beaucoup d'interrogations subsistent quant à l'intentionnalité qui guide les choix de parcours et de traitements.

La compréhension de DNL se caractérise également par une dimension dynamique importante. Si les processus de construction de représentations d'un document sont fonction des processus de navigation (ex. type de parcours), l'inverse est aussi vrai ; les représentations transitoires en mémoire vont permettre de faire émerger de nouveaux besoins, de produire de nouveaux buts et de guider les processus de navigation. A l'heure actuelle, les recherches restent mieux armées pour capturer les produits de l'activité que ses évolutions et donc sa dynamique. Le développement de modèles cognitifs rendant compte de la dynamique des traitements apparaît donc nécessaire. Ces problématiques sont centrales dans le domaine de l'ergonomie cognitive des documents (Chevalier & Tricot, 2008). Il est en effet important de disposer d'outils conceptuels pour la description de l'activité et l'interprétation des traitements cognitifs sous-jacents. Ceci est d'autant plus vrai que l'on a pu constater qu'une diversité de comportements peut amener différents individus à une même performance, ou à l'inverse, qu'un même comportement observé peut amener à des performances différentes.

Les travaux recensés dans cet article traitent de DNL fermés et par conséquent ont produit des connaissances encore difficilement généralisables à des situations de traitement de documents web interconnectés qui autorisent des déplacements inter-documents en plus des déplacements intra-document. Néanmoins les connaissances élaborées dans des situations expérimentales à partir de document fermés contribuent aux enjeux de conception des documents et des aides répondant aux besoins des lecteurs/utilisateurs. Les travaux à venir doivent également tenir compte de l'évolution des DNL. A l'heure actuelle de plus en plus de documents numériques voient le jour dans la perspective du Web 2, c'est-à-dire d'un web participatif. Dans cette perspective, les utilisateurs ne sont plus de simples utilisateurs-lecteurs mais contribuent également à la construction et à la modification des documents. Les modèles cognitifs sur le traitement des DNL devraient donc également tenir compte du caractère dynamique de ce nouveau type de documents mais aussi se développer à partir de l'étude des modifications et productions de ces documents par les utilisateurs.

Références

- Ahuja, J., & Webster, J. (2001). Perceived disorientation: An examination of a new measure to assess web design effectiveness. *Interacting with Computers*, 14(1), 15-29.
- Alexander, P. A., Kulikowich, J. M., & Jetton, T. L. (1994). The role of subject-matter knowledge and interest in the processing of linear and non-linear texts. *Review of Educational Research*, 64(2), 201-252.
- Amadiou, F., Bastien, C., & Tricot, A. (2008). Les méthodes on-line 1 : Analyse des parcours. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 251-270). Paris : PUF.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2006). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage : deux activités concurrentes ou complémentaires ? *Psychologie Française* 51(1), 5-23.

- Amadiou, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2010). Interaction between prior knowledge and concept-map structure on hypertext comprehension, coherence of reading orders and disorientation. *Interacting with computers*, 22, 88-97.
- Amadiou, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Prior knowledge in learning from a non-linear electronic document: Disorientation and coherence of the reading sequences. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 381-388.
- Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, doi:10.1016/j.learninstruc.2009.1002.1005.
- Anderson, J. R. (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51, 355-365.
- Azevedo, R., & Jacobson, M. (2008). Advances in scaffolding learning with hypertext and hypermedia: a summary and critical analysis. *Educational Technology Research and Development*, 56(1), 93-100.
- Baccino, T., Salmerón, L., & Cañas, J. (2008). La lecture des hypertextes. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 9-34). Paris : PUF.
- Balcytiene, A. (1999). Exploring individual processes of knowledge construction with hypertext. *Instructional Science*, 27(3-4), 303-328.
- Baylor, A. L. (2001). Perceived Disorientation and Incidental Learning in a Web-based Environment: Internal and External Factors. *Journal of educational multimedia and hypermedia*, 10(3), 227-251.
- Britt, M. A., Rouet, J., & Perfetti, C. A. (1996). Using hypertext to study and reason about historical evidence. Dans J. Rouet, J. J. Levonen, A. Dillon, & R. J. Spiro (Éd.), *Hypertext and Cognition* (Lawrence Erlbaum., pp. 43-72). Mahwah, NJ.

- Calisir, F., Eryazici, M., & Lehto, M. R. (2008). The effects of text structure and prior knowledge of the learner on computer-based learning. *Computers in Human Behavior*, 24(2), 439-450.
- Calisir, F., & Gurel, Z. (2003). Influence of text structure and prior knowledge of the learner on reading comprehension, browsing and perceived control. *Computers in Human Behavior*, 19(2), 135-145.
- Carmel, E., Crawford, S., & Chen, H. (1992). Browsing in hypertext: a cognitive study. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(5), 865-884.
- Cegarra, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: towards theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 40(4), 988-1000.
- Chen, C., & Rada, R. (1996). Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human-Computer Interaction*, 11(2), 125-156.
- Chevalier, A., & Tricot, A. (Eds.), (2008). *Ergonomie des documents électroniques*. Paris : PUF.
- Chmielewski, T. L., & Dansereau, D. F. (1998). Enhancing the Recall of Text: Knowledge Mapping Training Promotes Implicit Transfer. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 407-413.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *IEEE computers*, 20(9), 17-41.
- Cress, U., & Knabel, O. B. (2003). Previews in hypertexts: effects on navigation and knowledge acquisition. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(4), 517-527.
- de Jong, T., & van der Hulst, A. (2002). The effects of graphical overviews on knowledge acquisition in hypertext. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(2), 219-231.

- Dee-Lucas, D., & Larkin, J. H. (1999). Hypertext segmentation and goal compatibility: effects on study strategies and learning. *Journal of educational multimedia and hypermedia*, 8(3), 279-313.
- DeLeeuw, K. E., & Mayer, R. E. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, 100, 223-234.
- DeStefano, D., & LeFevre, J.-A. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*, 23, 1616-1641.
- Dillon, A., & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: a review of the empirical literature on learner comprehension, control and style. *Review of Educational Research*, 68(3), 322-349.
- Dillon, A., & Vaughan, M. (1997). "It's the journey and the destination": Shape and the emergent property of genre in evaluating digital documents. *New Review of Multimedia and Hypermedia*, 3, 91-106.
- Dochy, F., Rijdt, C. D., & Dyck, W. (2002). Cognitive prerequisites and learning: How far have we progressed since Bloom? Implications for educational practice and teaching. *Active Learning in Higher Education, the ILTHE journal*, 3(3), 265-284.
- Downing, R. E., Moore, J. L., & Brown, S. W. (2005). The effects and interaction of spatial visualization and domain expertise on information seeking. *Computers in Human Behavior*, 21, 195-209.
- Foltz, P. W. (1996). Comprehension, Coherence and Strategies in Hypertext and Linear text. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen, A. Dillon & R. J. Spiro (Eds.), *Hypertext and Cognition* (pp. 109-136). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ford, N., & Chen, S. Y. (2000). Individual differences, hypermedia navigation, and learning: an empirical study. *Journal of educational multimedia and hypermedia*, 9(4), 281-311.

- Gall, J. E., & Hannafin, M. J. (1994). A framework for the study of hypertext. *Instructional Science*, 22, 207-232.
- Gay, G. (1986). Interaction of learner control and prior understanding in computer-assisted video instruction. *Journal of educational psychology*, 78(3), 225-227.
- Gerjets, P., & Scheiter, K. (2003). Goal Configurations and Processing Strategies as Moderators Between Instructional Design and Cognitive Load: Evidence From Hypertext-Based Instruction. *Educational Psychologist*, 38(1), 33-41.
- Gray, S. H. (1990). Using protocol analyses and drawings to study mental model construction during hypertext navigation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2(4), 359.
- Gwizdka, J., & Spence, I. (2007). Implicit measures of lostness and success in web navigation. *Interacting with Computers*, 19(3), 357-369.
- Hofman, R., Van Oostendorp, H., (1999). Cognitive effects of a structural overview in a hypertext. *British Journal of Educational Technology*, 30(2), 129–140.
- Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33, 337–346.
- Jamet, E., Bétrancourt, M., & Rouet, J.-F. (2008). La compréhension des documents complexes. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 71-102). Paris : PUF.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95(2), 163-182.
- Kitajima, M., Blackmon, M. H., & Polson, P. G. (2000). A Comprehension-based Model of Web Navigation and Its Application to Web Usability Analysis. In S. McDonald, Y. Waern & G. Cockton (Eds.), *People and Computers XIV - Usability or Else! (Proceedings of HCI 2000)* (pp.357-373): Springer.

- Kraus, L. A., Reed, W. M., & Fitzgerald, G. E. (2001). The effects of learning style and hypermedia prior experience on behavioral disorders and time on task: a case-based hypermedia environment. *Computers in Human Behavior, 17*, 125-140.
- Last, D. A., O'Donnell, A. M., & Kelly, A. E. (2001). The effects of prior knowledge and goal strength on the use of hypertext. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 10*(1), 3-25.
- Lazonder, A. W. (2000). Exploring novice users' training needs in searching information on the WWW. *Journal of computer assisted learning, 16*, 326-335.
- Le Bigot, L., & Rouet, J.-F. (2007). The impact of presentation format, task assignment, and prior knowledge on students' comprehension of multiple online documents. *Journal of Literacy Research, 39*(4), 445-470.
- 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.
- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). SARA: A Text-Based and Reader-Based Theory of Signaling. *Educational Psychologist, 43*(1), 27-48.
- Lorch, R. F., & Lorch, E. P. (1995). Effects of organizational signals on text-processing strategies. *Journal of Educational Psychology, 87*, 537-544.
- Madrid, R. I., Van Oostendorp, H., & Melguizo, M. C. P. (2009). The effects of the number of links and navigation support on cognitive load and learning with hypertext: The mediating role of reading order. *Computers in Human Behavior, 25*(1), 66-75.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning (2nd ed)*. New York: Cambridge University Press.
- 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., & Kintsch, W. (1996). Learning from text: Effects of prior knowledge and text coherence. *Discourse Processes*, 22(3), 247-287.
- Mishra, P., & Yadav, A. (2006). Using hypermedia for learning complex concepts in chemistry: A qualitative study on the relationship between prior knowledge, beliefs, and motivation. *Education and Information Technologies*, 11(1), 33-69.
- Mitchell, T. J. F., Chen, S. Y., & Macredie., R. D. (2005). Hypermedia learning and prior knowledge: domain expertise vs. system expertise. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(1), 53-64.
- Mohageg, M. F. (1992). The influence of hypertext linking structures on the efficiency of information retrieval. *Human Factors*, 34(3), 351–367.
- Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008). Self-regulated learning with hypermedia : The role of prior domain knowledge. *Contemporary Educational Psychology*, 33(2), 270-298.
- Müller-Kalthoff, T., & Möller, J. (2003). The effects of graphical overviews, prior knowledge, and self-concept on hypertext disorientation and learning achievement. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 12(2), 117-134.
- Müller-Kalthoff, T., & Möller, J. (2004). The use of graphical overviews in hypertext learning environments. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner (Eds.), *Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers (CD-ROM)* (pp. 220-228). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Müller-Kalthoff, T., & Möller, J. (2006). Browsing while reading: effects of instructional design and learners' prior knowledge. *ALT-J*, 14(2), 183 - 198.
- Murphy, P. K., & Alexander, P. A. (2002). What counts? The predictive powers of subject-matter knowledge, strategic processing, and interest in domain-specific performance. *Journal of Experimental Education*, 70 (3), 197-214.

- Naumann, J., Richter, T., Flender, J., Christmann, U., & Groeben, N. (2007). Signaling in expository hypertexts compensates for deficits in reading skill. *Journal of Educational Psychology, 99*(4), 791-807.
- Niederhauser, D. S., Reynolds, R. E., Salmen, D. J., & Skolmoski, P. (2000). The influence of cognitive load on learning from hypertext. *Journal of Educational Computing Research, 23*(3), 237-255.
- Nilsson, R., & Mayer, R. E. (2002). The effects of graphic organizers giving cues to the structure of a hypertext document on users' navigation strategies and performance. *International journal of human-computer studies, 57*(1), 1-26.
- Otter, M., & Johnson, H. (2000). Lost in hyperspace: metrics and mental models. *Interacting with Computers, 13*(1), 1-40.
- Patel, S. C., Drury, C. G., & Shalin, V. L. (1998). Effectiveness of expert semantic knowledge as a navigational aid within hypertext. *Behaviour & Information Technology, 17*(6), 313-324.
- Perfetti, C. A., Rouet, J.-F., & Britt, M. A. (1999). Toward a theory of documents representation. In H. van Oostendorp & S. Goldman (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 99-122). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 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.
- Puntambekar, S., Stylianou, A., & Hübscher, R. (2003). Improving navigation and learning in hypertext environments with navigable concept maps. *Human-Computer Interaction, 18*(4), 395-428.
- Recker, M., & Pirolli, P. (1995). Modeling Individual Differences in Student's Learning Strategies. *The Journal of the Learning Sciences, 4*(1), 1-38.

- Rezende, F., & de Souza Barros, S. (2008). Students' navigation patterns in the interaction with a mechanics hypermedia program. *Computers & Education, 50*(4), 1370-1382.
- Robinson, D. H., & Kiewra, K. A. (1995). Visual argument: Graphic organizers are superior to outlines in improving learning from text. *Journal of Educational Psychology, 87*(3), 455-467.
- Rouet, J.-F. (2006). *The skills of document use: from text comprehension to web-based learning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rouet, J.-F., Levonen, J. J., Dillon, A., & Spiro, R. J. (1996). An introduction to hypertext and cognition. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen, A. Dillon & R. J. Spiro (Eds.), *Hypertext and Cognition* (pp. 3-8). Mahwah: NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rouet, J.-F., & Passerault, J.-M. (1999). Analyzing learner-hypermedia interaction: An overview of online methods. *Instructional Science, 27*(3), 201-219.
- Rouet, J.-F., & Tricot, A. (1996). Task and activity models in hypertext usage. In H. van Oostendorp & S. de Mul (Eds.), *Cognitive aspects of electronic text processing* (pp. 239-264). Norwood: NJ: Ablex Publishing.
- Salmerón, L., Baccino, T., & Cañas, J. (2006). How prior knowledge and text coherence affect eye fixations in hypertext overviews. In R. Sun & N. Miyake (Eds.), *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 715-719). Hillsdale: NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Salmerón, L., Cañas, J. J., Kintsch, W., & Fajardo, I. (2005). Reading strategies and hypertext comprehension. *Discourse Processes, 40*(3), 171-191.
- Salmerón, L., Kintsch, W., & Cañas, J. J. (2006). Reading strategies and prior knowledge in learning from hypertext. *Memory & Cognition, 34* (5), 1157-1171.
- Shapiro, A. (1998). Promoting active learning: The role of system structure in learning from hypertext. *Human-Computer Interaction, 13*(1), 1-35.

- Shapiro, A. (2008). Hypermedia design as learner scaffolding. *Educational Technology Research and Development*, 56(1), 29-44.
- Shapiro, A., & Niederhauser, D. (2004). Learning from hypertext: research issues and findings. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 605-620). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shapiro, A. M. (1999). The relationship between prior knowledge and interactive overviews during hypermedia-aided learning. *Journal of Educational Computing Research*, 20(2), 143-167.
- Shin, E., Schallert, D., & Savenye, C. (1994). Effects of Learner Control, Advisement, and Prior Knowledge on Young Students' Learning in a Hypertext Environment. *Educational Technology Research and Development*, 42(1), 33-46.
- Storrer, A. (2002). Coherence in text and hypertext. *Document Design*, 3(2), 156-168.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 43, pp. 215-266). San Diego: Academic Press.
- van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional Efficiency: Revisiting the Original Construct in Educational Research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.
- van Gog, T., Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G., & Witte, P. (2005). Uncovering the problem-solving process: Cued retrospective reporting versus concurrent and retrospective reporting. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 237-244.
- Vörös, Z (2009). *Rôle des processus visuo-spatiaux dans la lecture des hypertextes*. Thèse non-publiée, MSHS, Poitiers.

- Wenger, M. J., & Payne, D. G. (1996). Comprehension and retention of nonlinear text: Considerations of working memory and material-appropriate processing. *American Journal of Psychology*, *109*(1), 93-130.
- Wiley, J., & Rayner, K. (2000). Effects of titles on the processing of text and lexically ambiguous words: evidence from eye movements. *Memory & Cognition*, *28*, 1011-1021.
- Wright, P. (1991). *Cognitive Overheads and prostheses: some issues in evaluating hypertexts*. Paper presented at the Proceedings of the 3rd ACM Conference on Hypertext, San Antonio.
- Zeller, P., & Dillenbourg, P. (1997). Effet du type d'activité sur les stratégies d'exploration d'un hyperdocument. *Sciences et techniques éducatives*, *4*(4), 413-435.