



Article original

Utilisation d'un hypermédia et apprentissage : deux activités concurrentes ou complémentaires ?

Using hypermedia and learning: two concurrent or complementary activities?

F. Amadiou *, A. Tricot

*ERT 34 Hypermédias et apprentissages, université de Toulouse-le-Mirail, Laboratoire Travail et Cognition,
UMR 5551 CNRS, Maison de la Recherche, 5, allée Antonio-Machado, 31058 Toulouse cedex, France*

Reçu le 11 septembre 2005 ; accepté le 3 décembre 2005

Résumé

Cet article présente une revue de la littérature empirique à propos de l'utilisation des hypermédias pour l'apprentissage. Elle utilise la théorie de la charge cognitive comme cadre interprétatif de ces résultats. Ce cadre nous permet de structurer la revue en quatre grandes parties, correspondant aux principales sources des variations du coût cognitif : l'hypermédia, l'apprenant, la tâche d'apprentissage et la tâche d'utilisation de l'hypermédia, et à leurs sous-composantes. Selon nous, l'utilisateur d'un hypermédia pour l'apprentissage réalise une activité d'apprentissage et une activité d'utilisation de l'hypermédia, la première étant le but, la seconde étant le moyen et représentant un surcoût spécifique. Nous proposons d'interpréter les données observées non pas en référence à une corrélation linéaire apprentissage–utilisation mais en référence à l'implication apprentissage–utilisation.

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

Abstract

This article presents a review of the empirical literature about the use of hypermedia for learning. It uses the cognitive load theory as a framework to interpret the results. This framework enables us to structure the review in four main parts, corresponding to the principal sources of the variations of the

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : amadiou@univ-tlse2.fr (F. Amadiou).

cognitive cost: the hypermedia, the learner, the leaning task, and the using task, and to their under-components. According to us, the user of an hypermedia for learning carries out a learning activity and a hypermedia using activity, the first being the goal, the second being the means and representing a specific overcost. We propose to interpret the data observed not in reference to a linear correlation training–use but in reference to the implication training–use.

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

Mots clés : Apprentissage ; Hypermédias ; Navigation ; Coût cognitif ; Analyse de l'IHM

Keywords: Learning; Hypermedia; Navigation; Cognitive cost; HCI analysis

1. Introduction

Un hypermédia partage avec le document multimédia le fait qu'il utilise des médias différents (textes, images fixes ou animées) et sollicite deux modalités sensorielles (visuelle et auditive). Sa spécificité réside dans sa complexité : c'est un document composé de nombreuses unités documentaires reliées entre elles selon une structure non linéaire. Dans le contexte d'une tâche d'apprentissage, cette non-linéarité offre à l'utilisateur-apprenant une grande liberté de parcours parmi les unités documentaires, donc, a-t-on cru, une adaptation à ses besoins et une meilleure implication dans une activité d'apprentissage fondée sur des traitements profonds, la confrontation de points de vue et l'élaboration de connaissances personnelles et complexes.

Dans cet article, nous traitons spécifiquement des hypermédias. En effet, l'intérêt du multimédia pour l'apprentissage fait aujourd'hui l'objet de synthèses consensuelles (Mayer, 2005). Au contraire, l'accumulation des résultats empiriques permet de dresser un tableau nuancé de l'intérêt des hypermédias pour l'apprentissage (Dillon et Gabbard, 1998). Ces auteurs soulignent l'inconstance des résultats empiriques, qui s'expliquerait par une diversité des méthodes employées, des défauts méthodologiques et analytiques, une insuffisance des approches théoriques de l'apprentissage ainsi qu'une analyse trop imprécise des tâches d'apprentissage. On admet généralement aujourd'hui que les hypermédias sont spécifiquement pertinents pour les apprentissages de connaissances complexes (Hmelo-Silver et Pfeffer, 2004) ; le coût cognitif qu'implique le traitement de tels documents peut être tellement important pour l'apprenant que l'apprentissage s'en trouve grevé. Dans cet article, nous nous intéressons à cette hypothèse mainte fois avancée depuis quelques années (Conklin, 1987 ; Wright, 1991) et selon laquelle l'utilisation d'hypermédias pour l'apprentissage représente un surcoût cognitif. Au niveau du symptôme, le problème est évident et généralement désigné par les termes de désorientation et surcharge cognitive : l'utilisateur d'un hypermédia se retrouve fréquemment dans un état où il ne sait plus où aller, ni d'où il vient, ni comment y retourner et il ne parvient plus à effectuer sur les contenus des traitements comme la compréhension, la sélection ou l'apprentissage. Au niveau des causes, le surcoût cognitif est plus difficile à cerner et à mesurer : il relève plus souvent de l'interprétation *ad hoc* que d'un constat empirique.

L'objectif de cet article est d'actualiser, pour le préciser, le tableau de Dillon et Gabbard (1998), sous l'angle du surcoût. Il est ensuite de proposer un cadre pour expliquer le phénomène de surcoût et ses effets sur l'apprentissage. Un tel cadre n'existe pas à l'heure actuelle.

Comme DeStefano et LeFevre (sous presse) nous utilisons la théorie de la charge cognitive de Sweller (2003) pour ébaucher ce cadre, car celle-ci présente un double avantage : c'est une théorie psychologique qui rend compte de phénomènes de surcoût dans les activités d'apprentissage ; elle concerne les supports d'apprentissage et des effets que ceux-ci ont sur l'activité des individus. Elle reprend les modèles classiques de l'architecture cognitive intégrant la mémoire de travail (Baddeley, 1986) et la mémoire de travail à long terme (Ericsson et Kintsch 1995). La mémoire de travail (MDT) a une capacité très réduite de traitement d'un nouveau matériel mais, à l'opposé, présente une capacité illimitée de traitement des informations déjà apprises (mémoire de travail à long terme), c'est-à-dire déjà présentes en mémoire à long terme (MLT).

La théorie de la charge cognitive propose un modèle de la charge impliquée dans les activités d'apprentissage. Ce modèle dépasse une conception uniforme de la charge cognitive en distinguant trois formes :

- la charge cognitive liée aux ressources cognitives qui seront attribuées au maintien des informations en MDT (charge intrinsèque) — elle se réfère à la complexité (niveau d'interactivité des éléments) du contenu d'apprentissage que l'apprenant tente de se représenter mentalement ;
- la charge cognitive liée à la construction et l'automatisation des constructions des schémas via des processus d'élaboration, d'abstraction, de comparaison et d'inférences (charge essentielle) ;
- et la charge cognitive liée aux ressources allouées aux activités qui ne contribuent pas directement à l'apprentissage (charge extrinsèque) comme par exemple une activité de mise en correspondance de sources d'information séparées (effet de partage d'attention).

Les relations entre les trois formes de charge cognitive sont additives et asymétriques. La charge cognitive intrinsèque, irréductible, représente la base de la charge cognitive, les ressources restantes alors en MDT peuvent être allouées aux traitements en liens avec la charge cognitive extrinsèque ou essentielle (Paas et al., 2003). Ainsi, la balance dans l'allocation des ressources entre la charge cognitive extrinsèque et essentielle expliquerait les performances d'apprentissage : une charge extrinsèque importante limitera la mobilisation de ressources liées à la charge essentielle, alors qu'une réduction de la charge cognitive extrinsèque libèrera les ressources pour la charge essentielle favorisant alors l'acquisition et l'automatisation de schémas.

Dans cet article, nous dressons un panorama des sources de variations du coût cognitif impliqué dans le traitement des hypermédias pour l'apprentissage et proposons une explication dans le cadre de la charge cognitive notamment en distinguant la nature des coûts engendrés. Nous avons représenté dans la Fig. 1 ces différentes parties, leurs relations et leurs composantes respectives. Cette revue de la littérature nous permet de défendre le point de vue suivant : l'apprenant qui utilise un hypermédia réalise une tâche complexe, qu'il est possible d'analyser comme un ensemble de sous-tâches, organisé en deux grands niveaux, l'utilisation et l'apprentissage ; l'utilisation d'un hypermédia représente un surcoût spécifique parce qu'elle implique le traitement de la structure de l'hypermédia et l'utilisation de fonctionnalités (charge extrinsèque).

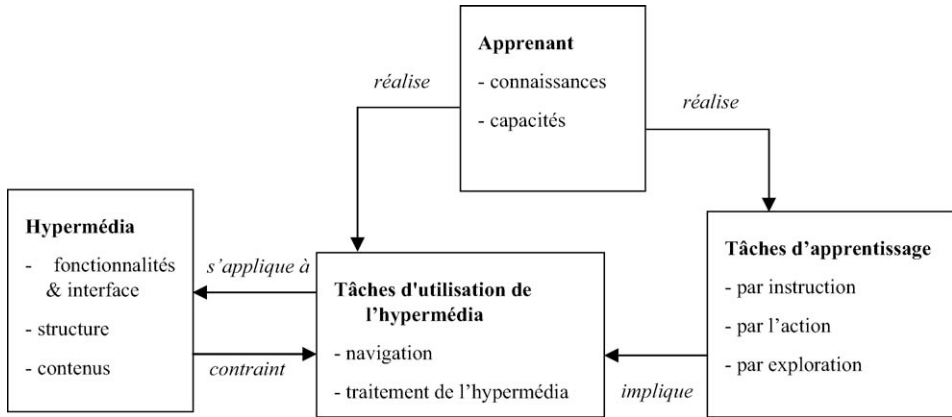


Fig. 1. Quatre sources de variation du coût cognitif impliqué par l'utilisation d'un hypermédia pour l'apprentissage (représentées dans les rectangles).

2. L'hypermédia comme source de variation du coût cognitif

2.1. Les fonctionnalités et l'interface

Quand un utilisateur tente d'utiliser un hypermédia, sa connaissance des fonctionnalités telles que l'index, la carte des contenus, le moteur de recherche, l'historique, les favoris, les liens, etc. est encore plus réduite qu'avec le livre. Ces fonctionnalités sont en effet plus nombreuses que dans le livre et peu familières pour de nombreux utilisateurs. En outre, comme avec tous les artefacts (Eason, 1984), plus les fonctionnalités de l'hypermédia sont nombreuses, plus il est difficile à utiliser (Wright, 1990). Utiliser de façon efficace ces fonctionnalités implique un apprentissage de celles-ci. L'utilisation régulière du Web entraîne une meilleure exploitation des fonctionnalités par les utilisateurs ; ces derniers établiraient des préférences, qui les conduiraient à choisir une fonctionnalité plutôt qu'une autre pour réaliser une même tâche (Thakor et al., 2004). Parmi les fonctionnalités disponibles, la « carte » de l'hypermédia est l'objet de nombreuses études empiriques. Par exemple, Stanton et al. (2000) montrent que l'utilisation des cartes entraîne une baisse de performance dans une tâche de recherche d'information. D'autres résultats, parfois contradictoires, ont été obtenus avec les cartes. D'après Stanton et ses collègues, les aides à la navigation tentent de pallier des erreurs de conception de la navigation. Ce faisant, ces fonctionnalités nombreuses, pas toujours pertinentes, souvent différentes d'un hypermédia à l'autre, représentent une cause du coût cognitif du traitement des hypermédiés. Selon les termes de la théorie de la charge cognitive, les ressources cognitives disponibles pour l'apprentissage sont trop diminuées, à cause de la mobilisation de ressources cognitives pour des traitements « inutiles ».

Comme nous venons de le voir, l'hypermédia peut être décrit comme un artefact complexe, présentant de multiples fonctionnalités. Ces fonctionnalités et la structure de l'hypermédia représentent pour l'utilisateur un espace de navigation, éminemment sémantique (Dillon, 2000 ; Dillon et al., 1993 ; Hsu et Schwen, 2003 ; Trumpower et Goldsmith, 2004) et peut-être même spatial (Padovani et Lansdale, 2003). L'étude des interfaces hypermédia permet de nuancer les résultats et les arguments de Stenton à propos des cartes. Les cartes ne sont peut-être pas efficaces dans l'absolu, mais certaines le sont plus que d'autres. Par exemple, Daniel-

son (2002) montre que la carte, quand elle est constamment disponible, a comme effet que les utilisateurs abandonnent moins leurs tâches de recherche d'information. Ils explorent plus profondément la structure, utilisent moins le bouton de retour en arrière, et font fréquemment des sauts de grandes distances hiérarchiques. De Lucas et Larkin (1995) ont comparé les effets de l'organisation de deux cartes dans une tâche de lecture compréhension : l'une hiérarchique (offrant des informations sur la structure du texte), l'autre alphabétique (sans information organisationnelle). Les résultats montrent que la carte hiérarchique est utilisée moins longtemps et conduit à de meilleures performances. La carte alphabétique, donnant moins d'informations pertinentes, serait moins facile à utiliser et moins efficace. Colombi et Baccino (2004) ont eux aussi comparé deux versions d'une même carte. Dans la version « cliquable », les participants ont la possibilité d'atteindre directement le troisième niveau de profondeur de l'arborescence alors que dans la version « non-cliquable », ils ont uniquement accès au premier niveau. Les auteurs montrent que la présence de liens cliquables dans la carte a un impact important sur le nombre de fixations sur la carte chez les novices, et sur leurs performances dans la tâche de recherche d'information, alors que les experts ne sont pas influencés par ce facteur. Ainsi, l'interface d'un hypermédia, c'est-à-dire la façon dont sont représentés les contenus, la structure et les fonctionnalités, peut générer une difficulté de traitement supplémentaire, notamment parce qu'en ce domaine les concepteurs ne connaissent pas toujours les bonnes solutions de conception.

2.2. La structure

Les hypermédias présentent la particularité de pouvoir adopter des structures différentes (en réseau, hiérarchiques, linéaires, en étoile, selon des niveaux de profondeur et de largeur différents), certaines d'entre elles (en réseau, très profondes, très larges), accentuant souvent la difficulté de compréhension (Lin, 2004). Tout se passe comme si la compréhension d'un hypermédia impliquait l'élaboration d'une représentation mentale de la structure, c'est-à-dire d'un schéma global des relations entre les différentes sous-parties du document. Dans les textes classiques, ce schéma global obéirait à des conventions d'organisation du texte ou du discours, en nombre limité (narration, description, argumentation, etc.) et apprises par le lecteur. Avec l'hypermédia, l'utilisateur ne disposerait pas en mémoire de tels schémas. L'hétérogénéité de la structure des hypermédias et la complexité de certaines d'entre elles (réseaux) contribuent donc au coût cognitif du traitement des hypermédias. Quelques résultats empiriques conduisent cependant à nuancer les arguments systématiquement en défaveur des structures en réseau. Par exemple, Lee et Tedder (2003) ont conduit une expérimentation où ils ont comparé la lecture d'un texte traditionnel (deux pages), d'un hypertexte structuré (quasi-linéaire, huit pages) et d'un hypertexte en réseau (neuf pages). Les performances à une tâche de rappel sont meilleures pour le texte traditionnel que pour l'hypertexte structuré, mais il n'y a pas de différence avec l'hypertexte en réseau. Donc, dans cette expérience, la version réseau, où la tâche de navigation est la plus exigeante, n'entraîne pas une baisse des performances. Quelle que soit la tâche, plus les sujets consacrent de temps à la tâche et plus leur performance est élevée. Les sujets consacrent plus de temps à la lecture de l'hypertexte en réseau qu'aux autres : ils compenseraient une plus grande exigence de la tâche par un temps de traitement plus important (données non publiées, gracieusement fournies par l'auteur Moon J. Lee). Cette étude suggère que la structure non linéaire de l'hypermédia ne représente pas en soi un coût rédhibi-

toire : le traitement peut être réalisé par le lecteur, s'il dispose des ressources pour effectuer ce traitement et s'il consent un investissement important dans cette activité.

2.3. *Les contenus*

Une des spécificités des hypermédias réside dans la complexité des connaissances qu'ils présentent, en particulier dans la multiplicité des sources des différentes sous-parties du document. L'utilisateur d'un hypermédia doit élaborer une représentation qui intègre les différentes sources, qui peuvent être des points de vue différents, voire contradictoires. Alors que dans la compréhension de textes classiques, le lecteur élabore un modèle de situation cohérent (Kintsch, 1998), l'utilisateur d'un hypermédia élabore un modèle à double niveau : un modèle du contenu qui tend à être cohérent et un modèle des sources, le second relativisant le premier (Perfetti et al., 1999). Farris et al. (2002) ont fait dessiner à des utilisateurs des schémas d'un site Web dont ils ont fait varier les interconnexions. Les dessins changent. Ils reflètent les liens conceptuels (sémantiques) et non pas les liens physiques. Donc, pour les auteurs, les utilisateurs ne construisent pas des images mentales (des représentations de la structure physique) d'un hypermédia comme s'ils construisaient l'image mentale d'un espace physique. C'est bien la représentation d'un modèle conceptuel du contenu que le lecteur doit élaborer. Selon les termes de la théorie de la charge cognitive, les hypermédias présentent des connaissances complexes, avec un degré d'interaction important entre elles, ce qui implique une charge intrinsèque importante.

2.4. *Discussion*

Un hypermédia peut donc être analysé comme présentant trois caractéristiques susceptibles d'être des sources de variation du coût cognitif. La présentation rapide de quelques résultats empiriques conduit à réaffirmer ce que disaient déjà Dillon et Gabbard (1998) : les résultats dans le domaine ne sont pas cohérents. Cette absence de cohérence est très probablement due à l'hétérogénéité des mesures effectuées d'une part, et au caractère général des hypothèses étudiées d'autre part. Nous retiendrons que les hypermédias ont la particularité de présenter des contenus complexes et multisources, selon des structures et avec des fonctionnalités nombreuses et peu stables, que les concepteurs ne savent pas nécessairement bien représenter. Le traitement de cette complexité et cette instabilité représentent ce que nous appelons un surcoût spécifique : les contenus ont un fort degré d'interactivité, les informations inutiles (notamment les fonctionnalités) sont trop nombreuses et l'utilisateur ayant affaire avec des environnements variables ne peut pas apprendre d'un hypermédia à l'autre des connaissances qu'il pourrait réutiliser (et donc posséder des ressources limitant sa charge extrinsèque en MDT). Cette impossibilité d'élaborer des schémas mentaux de la structure des hypermédias serait la dernière cause du surcoût. L'une des sources de variation de ce surcoût spécifique repose sur les ressources dont dispose l'apprenant. Ainsi, nous abordons dans la partie suivante l'effet modulateur des caractéristiques de l'apprenant.

3. L'apprenant comme source de variation du coût cognitif

3.1. L'effet des connaissances antérieures

Les connaissances antérieures du domaine, de type déclaratif, constituent l'une des caractéristiques individuelles les plus étudiées dans le domaine des apprentissages avec hypermédias. Les nombreux résultats tendent à montrer que la structure non linéaire des hypermédias est plus compatible avec des connaissances élevées qu'avec des connaissances faibles (Chen et al., 2006). Par exemple, une étude de Potelle et Rouet (2003) indique que des connaissances antérieures dans le domaine de contenu facilitent l'élaboration d'un modèle mental du contenu avec une carte conceptuelle structurée en réseau, alors qu'avec cette même carte structurée hiérarchiquement l'effet des connaissances disparaît. Des résultats équivalents ont été obtenus par Lee et Lee (1991) dans une tâche d'apprentissage où un guidage de l'apprenant sous forme de prescriptions et recommandations améliorerait l'apprentissage ; mais cet effet s'estompe avec l'augmentation du niveau de connaissances antérieures. Dans une tâche de recherche d'information, Rouet (2003) n'a pas obtenu d'effet marqué des connaissances antérieures sur les stratégies mise en œuvre, mais il montre que des étudiants en psychologie et ceux en géographie ont un apprentissage plus important dans leur domaine respectif (dans une tâche de rappel des titres). Enfin, une étude qualitative de Last et al. (2001) révèle que lorsque des individus ont une tâche spécifique à compléter (répondre à des questions à l'aide de l'hypermédia), ceux ayant des connaissances antérieures emploient des stratégies élaborées (recherche de contenus familiers et stratégies non méthodiques) alors que ceux ayant peu de connaissances utilisent des stratégies peu élaborées (stratégies méthodiques et exhaustives). Ainsi, les structures de connaissances relatives au domaine favorisent le maintien et l'intégration des nouvelles connaissances, ce qui libère des ressources pour une utilisation efficace de l'hypermédia.

Des connaissances procédurales liées à l'utilisation des hypermédias sont aussi utiles dans une activité d'apprentissage. Kraus et al. (2001) montrent qu'une expérience antérieure des hypermédias entraîne des temps d'utilisation de l'hypermédia plus importants. Selon les auteurs, un utilisateur expérimenté aurait une meilleure compréhension de l'hypermédia et serait donc plus à même d'utiliser les liens et d'emprunter des parcours non linéaires, ce qui se traduirait par un temps d'utilisation plus important. Reed et al. (2000) montrent également qu'une importante expérience des hypermédias favorise des parcours transversaux dans l'hypermédia et non des parcours linéaires et donc une meilleure exploitation de la flexibilité des parcours. Ce type de connaissances permettrait donc une réduction de la charge extrinsèque.

Enfin, des connaissances générales liées à l'expérience d'utilisation des ordinateurs peuvent également influencer sur l'apprentissage dans les dispositifs hypertextuels. D'après Brinkerhoff et al. (2001), cette compétence permettrait aux apprenants de repérer plus facilement la structure de l'hypertexte, ce qui réduirait la charge cognitive liée à la navigation et donc libérerait des ressources nécessaires à l'apprentissage.

3.2. L'effet des capacités cognitives

On trouve sous le terme vague de capacités cognitives un ensemble d'études très hétérogène dont nous avons retenu trois sous-catégories, qui ont le principal avantage d'avoir été étayées bien avant l'apparition des hypermédias : les capacités métacognitives, la MDT verbale et les habilités spatiales.

Des capacités cognitives élevées peuvent avoir un effet positif sur l'utilisation de l'hypermédia et tout particulièrement lorsque celles-ci relèvent de la métacognition, car les hypermédias sont des dispositifs nécessitant une importante autorégulation de l'apprenant. Veenman et al. (2002) ont mis en avant l'influence positive des habiletés métacognitives sur les comportements et performances d'apprentissage dans un dispositif d'apprentissage de l'optique. En effet, une analyse corrélacionnelle a montré que l'acquisition de connaissances conceptuelles et le nombre d'actions réalisées par les apprenants augmentaient avec leurs habiletés métacognitives.

Les hypermédias sollicitent fortement la mémoire de travail (pour la planification des actions par exemple). Ainsi, Lee et Tedder (2003) ont montré que de hautes habiletés de MDT (mesurées par un test d'empan de lecture) amenaient de meilleures performances à une tâche de rappel factuel aussi bien pour un document de structure linéaire, hiérarchique ou en réseau. Mais les auteurs ne parviennent pas à vérifier l'hypothèse d'interaction entre la structure de l'hypertexte et la capacité de la MDT (la structure de l'hypertexte qui aurait un effet plus fort chez les individus dont les capacités de MDT sont plus faibles).

Les habiletés spatiales sont également considérées comme un facteur important dans l'activité d'utilisation d'un hypermédia (Chen et Rada, 1996). Une étude de Lin (2003) menée sur une population de faibles habiletés spatiales (personnes âgées de 60 ans en moyenne) a montré que, dans une tâche de recherche d'information, une structure hiérarchique permettait une exploration de l'hypertexte plus efficace qu'une structure réseau (efficacité mesurée par l'orientation de l'utilisateur soit le nombre de liens additionnels sur nombre minimum de liens nécessaires pour répondre, ainsi que par la largeur du contenu consulté, mesurée par le nombre de nœuds ouverts plus d'une fois). Ainsi, la structure hiérarchique réduirait la charge cognitive en limitant les déplacements et fournissant davantage d'information sur les relations sémantiques entre les nœuds (exemple relation de sur-ordination). Des résultats similaires ont été obtenus par Downing et al. (2005), ou encore Nilsson et Mayer (2002) qui ont étudié l'impact du niveau d'habileté spatiale de sujets dans une tâche d'exploration d'un hypermédia présentant des informations sur des animaux aquatiques. Les résultats ont montré une nouvelle fois que des sujets ayant de hautes habiletés spatiales étaient plus efficaces en termes de navigation, dans le sens où ils prenaient moins de temps et activaient moins de nœuds. De faibles habiletés spatiales provoqueraient une désorientation dans des structures non linéaires car l'activité de navigation comporterait une composante spatiale (Padovani et Lansdale, 2003). Pour Dillon et al. (1993), ce traitement impliquerait trois niveaux d'instanciation de schéma :

- représentation de points de repère ;
- de parcours ;
- et de plan.

Ainsi, les lecteurs conceptualiseraient « l'espace » des hypermédias et ce d'autant plus facilement que cet espace possède une forme prototypique (Dillon, 2000).

Si l'on accepte, d'une part avec Sweller que les capacités sont le fruit d'un apprentissage, d'autre part avec Dillon et al. (1993) que les utilisateurs acquièrent des schémas à propos de la forme des documents, alors les apprentissages dans les domaines métacognitifs, verbaux ou spatiaux peuvent se traduire par l'élaboration de schémas et d'automatismes que les individus réutilisent quand le traitement d'un hypermédia l'exige.

3.3. Discussion

Ainsi, des connaissances antérieures et des capacités cognitives élevées, dont on peut penser au sein de la théorie de la charge cognitive qu'il s'agit de la même chose, semblent constituer des ressources utiles à la réalisation des tâches d'apprentissage et de navigation. Nous n'avons pas abordé les nombreuses études consacrées à la dépendance–indépendance à l'égard du champ (Chen, 2002). Certaines ressources, notamment fournies par les connaissances des hypermédias et par les habiletés spatiales, permettraient un meilleur traitement des dispositifs hypermédias, libérant ainsi des ressources pouvant être allouées à l'activité même d'apprentissage. En revanche, d'autres ressources fournies notamment par les connaissances antérieures du domaine et par les capacités métacognitives, favoriseraient davantage les traitements centrés sur l'apprentissage, permettant ainsi de libérer des ressources pour l'utilisation des dispositifs hypermédias et donc de réduire le coût engendré par cette activité.

Certaines études récentes sont aussi consacrées à l'interaction entre l'effet des connaissances de l'utilisateur et celui de ses capacités spatiales (Downing et al., 2005), celui de la structure de l'hypermédia (Calisir et Gurel, 2003) ou des fonctionnalités disponibles (McDonald et Stevenson, 1998), sans que les résultats ne soient toujours très concluants. L'hétérogénéité des mesures réalisées dans le domaine est très grande. Parfois même, une mesure est interprétée de deux façons opposées. Le temps par exemple est utilisé par Nilsson et Mayer (2002) comme pondérateur dans la mesure de l'efficacité alors que Kraus et al. (2001) considèrent au contraire le temps comme un facteur positif, les utilisateurs qui consacrent le plus de temps à l'activité étant ceux qui ouvrent le plus de pages de contenus.

4. La tâche d'apprentissage comme source de variation du coût cognitif

Abordé sous l'angle de l'activité d'apprentissage, l'hypermédia sous-tend selon Tricot et al. (2000) un apprentissage par instruction (tâche de lecture–compréhension), par l'action (tâche de résolution de problème ou recherche de réponses à des questions) ou par exploration (tâche de conduite de projet, de réalisation d'enquête). Il implique un contrôle important de l'apprenant sur sa propre activité, contrôle dont l'effet peut être renforcé si l'hypermédia est adaptatif (Federico, 1999). Nous présentons maintenant quelques résultats empiriques concernant les trois situations d'apprentissage évoquées.

4.1. Apprentissage par instruction

Kerwin (2004) a évalué l'utilisation d'un hypermédia de 28 pages pour l'apprentissage des troubles du comportement alimentaire. Trois versions sont proposées : une linéaire, munie des boutons précédent et suivant, une « interactive », où les participants sont invités à cliquer sur les diagnostics corrects, à placer une photographie en face du mot correspondant, ou à placer des mots ou des photographies dans l'ordre correct, et enfin une version semi-interactive, dans laquelle un écran sur deux sont « interactifs ». Les résultats sont en faveur de la version linéaire, puis de la version semi-interactive, la version « pédagogiquement interactive » étant donc la moins efficace. Peut-être qu'ici l'hypothèse d'un surcoût imposé par la tâche d'apprentissage serait-elle pertinente ? Dans la version « interactive », les apprenants doivent comprendre les contenus, utiliser l'hypermédia et réaliser la tâche d'apprentissage censée les rendre

plus actifs, alors que dans la version linéaire, ils n'ont pas à réaliser cette troisième tâche. Les résultats obtenus avec la version intermédiaire renforcent l'hypothèse d'un surcoût.

4.2. *Apprentissage par l'action*

Liu (2004) a conçu un hypermédia pour l'apprentissage par résolution de problèmes pour les élèves de sixième. Son hypermédia, fondé sur un scénario qui engage l'activité des élèves (il s'agit de sauver des extraterrestres dont la planète a été détruite et qui arrivent sur terre), produit de meilleurs résultats avec des élèves de bas niveau initial ou présentant des difficultés qu'avec les élèves ayant un bon niveau initial. Les « bons élèves » ont de meilleures performances à l'issue de l'apprentissage, mais le gain entre le prétest et le post-test est meilleur pour les « élèves faibles ». Ce résultat surprenant est peut-être lié à la qualité pédagogique de l'hypermédia et à celle du scénario conçu par Liu qui sont peut-être tout simplement bonnes (voir le site www.alienrescue.com), ce qui pourrait ne pas être le cas de nombreux hypermédiés conçus *ad hoc* pour les besoins d'une expérimentation, par des chercheurs n'ayant aucune compétence dans le domaine de la conception pédagogique.

Des auteurs comme Bera et Liu (2006) reprennent l'argument de Dillon et Vaughn (1997) : « La compréhension n'est rien d'autre que la navigation, un type de tâche qui est indépendant du processus de déplacement dans l'espace informationnel (p. 99) ». La façon dont un individu navigue dans un environnement hypermédia et le sens qu'il élabore coexistent et se codéterminent l'un à l'autre. Pour Bera et Liu (2006), la tâche des apprenants n'est pas de naviguer dans l'hypermédia mais plutôt d'utiliser des outils pour explorer l'environnement, collecter de l'information, faire des hypothèses, trouver des solutions. Ces outils sont autant des aides à l'apprentissage que des aides à la navigation. Il s'agit d'une seule et même chose. Mais, les résultats de l'expérimentation conduite par les auteurs vont dans le sens inverse de leur point de vue théorique : les élèves qui utilisent le moins les outils cognitifs ont les meilleures performances. L'interprétation des auteurs, fondée sur l'analyse des parcours, est que les élèves qui ont beaucoup utilisé des outils cognitifs s'en sont fait un but, oubliant l'apprentissage, alors que les outils cognitifs ne sont que des moyens pour l'apprentissage. L'hypothèse de Bera et Liu nous semble fondamentale : parfois la tâche seconde, la tâche d'utilisation, devient le but principal de l'activité.

4.3. *Apprentissage par exploration*

Yang (2000), à l'opposé, demande aux sujets de réaliser une sorte de parcours thématique sur un thème imposé au sein du célèbre hypermédia *Perseus*, de sauvegarder une sélection de documents, puis rédiger un texte sur ce même thème. Pour réaliser cette tâche complexe, les étudiants doivent formuler une problématique et des hypothèses, puis élaborer leur démarche. La réalisation de cette tâche se révèle très exigeante. Les étudiants qui ne produisent pas l'effort nécessaire n'apprennent quasiment rien.

4.4. *Discussion*

Ainsi, les hypermédiés, qui concernent les connaissances complexes, semblent se prêter à des tâches d'apprentissage très diverses. Par la complexité des connaissances abordées, les

trois grandes catégories de tâches peuvent entraîner un coût cognitif important. Néanmoins, la question fondamentale relative au surcoût cognitif doit porter sur la nature des ressources exigées par les différents types de tâches d'apprentissage, à savoir quelles formes de la charge cognitive sont particulièrement sollicitées par un type de tâche ? Les résultats de Yang (2000) supportent l'idée de concevoir des tâches mobilisant davantage la charge essentielle pour favoriser l'apprentissage. Mais, statuer sur la pertinence des tâches reste encore délicat car les mesures sont d'autant plus hétérogènes que les tâches le sont. Nous évoquons maintenant la dernière source de variation du coût, l'utilisation de l'hypermédia.

5. L'utilisation d'un hypermédia comme source de variation du coût cognitif

L'utilisation d'un hypermédia pour réaliser une tâche d'apprentissage consiste à transformer un but ou un sous-but d'apprentissage en une tâche que l'on désigne sous le terme de recherche d'information ou de navigation. L'apprenant doit élaborer une représentation de son but en termes de contenu d'information, ce contenu en une localisation d'un nœud d'information et l'atteinte de ce nœud en une suite d'actions ou parcours de navigation, qui implique l'utilisation de fonctionnalités et des décisions. Chaque décision dépend donc d'une part, de la représentation que l'utilisateur se fait du but poursuivi, et d'autre part, de sa représentation de la structure, de l'espace de navigation. Une fois qu'il a trouvé le nœud, il doit évaluer en quoi ce nœud correspond au but recherché. Ce que l'individu apprend dépend donc de la façon dont il aura effectué ces traitements (compréhension des contenus et utilisation de l'hypermédia) en fonction de ces buts (Oulasvirta, 2004). Niederhauser et al. (2000) ont obtenu des résultats indiquant que les liens transversaux dans un hypertexte hiérarchique sont peu activés et que les performances d'apprentissage baissent avec une utilisation croissante de ces liens. Les auteurs utilisent la théorie de la charge cognitive comme modèle interprétatif des résultats : les hypertextes imposent une prise de décision dans la sélection et le séquençage des informations, ce qui augmente la charge extrinsèque et donc diminue l'apprentissage des contenus.

5.1. Le coût de l'activité navigation

Une série d'expériences menées par Wenger et Payne (1996) montre une absence de différence de coût cognitif entre un document hypertexte et un document linéaire. En revanche, la différence entre l'hypertexte et le document linéaire reposerait davantage sur la nature des ressources sollicitées par le traitement du document. En effet, l'étude a montré qu'un hypertexte présentant un texte descriptif scientifique amène de meilleures performances à un test de rappel libre que la version linéaire de ce texte lorsqu'une charge concurrente numérique est adjointe, mais cette différence disparaît lorsque les sujets ont à traiter une tâche concurrente spatiale. Les hypertextes semblent imposer davantage d'exigences en termes de traitement « relationnel » que le texte linéaire. D'après les auteurs, le coût spécifique du traitement d'un hypertexte réside dans la prise de décisions de séquençage et de navigation, ce qui correspond à un traitement de type relationnel. En d'autres termes, la tâche de sélection d'un parcours dans un hypertexte nécessite que le lecteur prenne des décisions et fasse des prédictions à propos des relations entre les divers thèmes. Ainsi, on parlera davantage de « balance spécifique » des traitements qui diffère entre un document hypertexte et un document linéaire.

5.2. *Le coût du traitement de l'hypermédia*

Dans le paragraphe 2, nous avons déjà évoqué le coût cognitif impliqué dans le traitement de quatre aspects des hypermédias : les fonctionnalités, la structure, les contenus et l'interface. Ce type de traitement des informations présentées par l'hypermédia relève essentiellement de la perception et de la compréhension, et il interagit avec l'activité de navigation, que nous venons de décrire comme une suite de décisions et d'actions. Pour Padovani et Lansdale (2003), la navigation représente deux activités :

- le déplacement d'un point à un autre, d'un document à un autre ;
- un processus de médiation à travers lequel l'utilisateur apprend implicitement ou explicitement la structure de l'espace informationnel.

La structure est une information sur l'espace informationnel, donc une sorte de métaconnaissance apprise au cours de la navigation. Les outils de navigation quant à eux, seraient des médias, entre la structure de l'hypermédia et l'activité de l'utilisateur. Dans une étude empirique comparant deux outils, la carte (présentée comme une métaphore) et les favoris, les auteurs montrent que les favoris permettent l'apprentissage de la structure et la localisation de la cible et représentent un investissement cognitif pour la future récupération d'une page cible. Selon ce point de vue, la performance de l'utilisateur est optimisée par l'équilibre de deux conditions potentiellement antagoniques. En premier lieu, l'utilisabilité des outils et la métaphore doivent libérer les ressources cognitives pour la planification de l'activité ; en second lieu, la difficulté de la tâche et le besoin de planification doivent demeurer évidents à l'utilisateur. Pour ces auteurs donc, il y a bien un surcoût spécifique représenté par l'apprentissage de la structure de l'hypermédia, apprentissage réalisé au cours de l'activité de navigation et par l'intermédiaire de la manipulation d'outils.

5.3. *Discussion : l'utilisation d'un hypermédia comme surcoût spécifique*

Les hypermédias pour l'apprentissage impliqueraient la réalisation d'une double tâche, l'apprentissage et l'utilisation. Cette tâche d'apprentissage peut être réduite à son strict minimum, comme la lecture-compréhension du contenu. Cette tâche peut aussi être complexifiée, en ajoutant par exemple des tâches d'étude guidée. Plus la tâche d'apprentissage est complexe et plus le coût cognitif est élevé. Pourtant, dans certains cas, les concepteurs doivent trouver un moyen d'accroître l'implication de l'apprenant dans la tâche d'apprentissage ou la profondeur de traitement afin que ceux-ci réalisent un véritable apprentissage.

Les apprenants ont du mal à réguler leur apprentissage de notions complexes avec les hypermédias, c'est-à-dire à décider ce qu'ils doivent apprendre, comment, quel temps y consacrer, diagnostiquer qu'ils ont appris. La solution est de leur donner des aides en fonction des besoins, aides qui peuvent être conceptuelles, métacognitives, procédurales, stratégiques. Ces aides sont parfois inefficaces, comme nous l'avons vu ci-dessus, et parfois efficaces, notamment quand elles sont réellement adaptées au besoin de l'apprenant (Azevedo et al., 2004). Ajoutons que l'hypermédia est souvent intégré dans un environnement d'apprentissage ne se limitant pas à l'hypermédia, mais intégrant des acteurs humains et d'autres ressources techniques (Pimentel et al., 2001).

En situation de double tâche, la performance à l'une est détériorée par une hausse trop importante du coût de l'autre. Colombi et Baccino (2004) expliquent d'ailleurs leurs résultats surprenants de cette manière : si les utilisateurs novices bénéficient d'un outil complexe (une carte cliquable), c'est parce que la tâche de recherche d'information proposée représentait un coût très faible (il s'agissait de simplement « repérer » une information, et non d'en traiter son contenu). Outre l'apprentissage, l'utilisateur d'un hypermédia pour l'apprentissage réalise donc une activité d'utilisation de l'hypermédia, qui implique, à chaque nouvel hypermédia, un apprentissage de l'utilisation, c'est-à-dire un apprentissage de la structure et des fonctionnalités de l'hypermédia. En effet, un hypermédia est un document singulier en ce sens qu'il est organisé selon une structure particulière, différente d'un hypermédia à l'autre. Ce fait est peut-être conjoncturel, des structures canoniques vont peut-être se stabiliser, comme le livre s'est stabilisé au *xx^e* siècle. L'absence de stabilité rendant l'apprentissage et l'automatisation difficiles, l'utilisateur d'aujourd'hui doit traiter ce niveau d'organisation des contenus et particulièrement leurs sources, à travers le traitement des cartes qui représentent la structure, l'utilisation des fonctionnalités et la navigation. Cet apprentissage se réalise par l'action, au cours de l'activité de navigation, ainsi que par la perception et la compréhension de méta-informations, comme les cartes. L'utilisation et l'apprentissage de l'utilisation sont des activités au service de l'activité principale, l'apprentissage du contenu de l'hypermédia. Le contenu de l'hypermédia étant généralement complexe, cette activité d'apprentissage est exigeante, et requiert parfois des aides. L'utilisation de ces aides rajoute au coût cognitif de l'activité.

Cette proposition d'une analyse en deux niveaux, une tâche secondaire étant au service d'une tâche principale, conduit à envisager les méthodes d'analyse de l'activité en deux niveaux : celles consacrées à l'utilisation, celles consacrées à l'apprentissage. Aussi faut-il être capable d'interpréter les relations entre ces deux niveaux, l'un étant le moyen de l'autre.

6. Quelles relations entre utilisation et apprentissage ?

Un premier constat concernant les études précédemment présentées est qu'une partie importante des études mesure soit l'apprentissage, soit l'utilisation, avec des variables clairement distinctes, si l'on excepte le cas des dessins de la structure de l'hypermédia (selon les auteurs, ces derniers sont utilisés pour évaluer l'apprentissage ou l'utilisation). Une évaluation conjointe de l'utilisation et de l'apprentissage semble nécessaire, si l'on considère que la tâche d'utilisation est un facteur supportant l'apprentissage ou au contraire interférant. Nous allons rendre compte dans ce chapitre d'études empiriques et de propositions générales concernant l'interprétation des relations entre ces deux types de variables.

De Jong et Van der Hulst (2002) ont étudié l'effet de trois hypertextes présentant les systèmes d'approvisionnement en essence d'une voiture : condition visuelle (une carte représente une structure basique du domaine), condition avec conseils de parcours (les nœuds sont arrangés de manière aléatoire à l'écran et sont illuminés pour indiquer le parcours à suivre) et condition sans conseils (les nœuds sont présentés aléatoirement). Les résultats montrent que les groupes avec carte et avec conseils suivent plus les liens de l'interface que le groupe sans conseils. La condition avec carte n'est supérieure aux deux autres que pour les connaissances « configurales » (connaissances de la structure du domaine évaluées à l'aide d'une tâche de classification de cartes) et propositionnelles (connaissances des relations entre deux nœuds spécifiques évaluées par un QCM). Quant au groupe conseil, il tend à être supérieur à la condition sans conseil uniquement pour les connaissances propositionnelles. Ces résultats sug-

gèrent que le parcours balisé favorise la connaissance des liens mais pas les connaissances de la structure ou des contenus des nœuds (définitions évaluées par un QCM). En revanche, une carte favoriserait la construction d'une représentation de la structure de l'hypertexte. Ainsi, le type d'interface d'un hypertexte peut induire un type de parcours qui peut induire un type d'apprentissage. Cela est confirmé par Boechler et Dawson (2002) qui distinguent l'information spatiale de l'information conceptuelle fournie par un outil de navigation. Lors d'une tâche de recherche d'information (répondre à dix questions en utilisant l'outil), les comportements des sujets sont comparés en fonction de quatre outils de navigation : liste alphabétique (pas d'information spatiale ou conceptuelle), liste hiérarchisée (outil conceptuel), regroupement spatial des pages (outil spatial) et outil hiérarchique (information spatiale et conceptuelle). Les résultats indiquent que les sujets ne suivent pas véritablement la séquence de la liste alphabétique, que la liste hiérarchisée influence selon la dimension profondeur, que les comportements dans la condition regroupement spatial correspondent plutôt bien aux groupements spatiaux et enfin que l'outil mixte entraîne des comportements suivant la profondeur et la largeur présentées dans l'outil. Ainsi, les choix de navigation des utilisateurs apparaissent fortement déterminés par la structure de l'outil.

En revanche, Rouet (2003) a mesuré la corrélation entre la performance de rappel (dessin avec titres) et des mesures de l'utilisation telles que la précision du parcours, le temps de réalisation de la tâche, le temps de planification. Mais, aucune corrélation n'est significative. Otter et Johnson (2000) constatent que les mesures de désorientation et la précision du modèle mental élaboré par le sujet ne corrélaient pas. Bera et Liu (2006) ont procédé à une analyse en clusters pour constituer trois groupes d'individus selon leur fréquence d'utilisation des fonctionnalités disponibles. Puis ils ont analysé les performances à deux post-tests pour chacun de ces groupes, l'appartenance à un groupe étant donc utilisée comme variable indépendante. Cela leur permet de montrer, comme nous l'avons mentionné plus haut, que les élèves qui utilisent le moins les fonctionnalités ont les meilleures performances aux post-tests. Dias et Sousa (1997) montrent que le nombre de fois où l'utilisateur consulte la carte et son temps de consultation sont positivement corrélés à l'efficacité du parcours mesurée en termes de précision et de taux d'accès. En revanche, l'utilisation de la carte n'est pas corrélée avec les performances en termes de taux de rappel (les corrélations sont négatives, à $-0,32$ et $-0,33$, mais non significatives). Donc l'utilisation d'un outil de navigation comme la carte peut améliorer la performance d'un utilisateur en termes de précision (il aide à ne pas sélectionner les informations non pertinentes) sans les améliorer, au contraire, en termes de rappel (il n'aide pas à sélectionner les informations pertinentes).

Ainsi, dès que l'on analyse les relations entre mesures d'apprentissage et mesures d'utilisation, on constate une grande incohérence des résultats. Parfois l'utilisation a un effet sur l'apprentissage, parfois non. Pourtant, selon une perspective ergonomique (Squires et Preece, 1996), il est nécessaire d'intégrer l'évaluation de l'utilisabilité dans l'évaluation d'une application informatique pour l'apprentissage. Un hypermédia trop difficile à utiliser ne permet aucun apprentissage. Mayes et Fowler (1999) présentent un contre-argument original : une application informatique pour l'apprentissage ne doit pas obéir *stricto sensu* aux critères d'utilisabilité, elle ne doit pas nécessairement faciliter l'utilisation. Pour certaines tâches d'apprentissage en tous cas, l'apprenant doit procéder à un traitement profond du contenu, pour le comprendre, accéder au niveau conceptuel. Cela ne se fait pas rapidement ou superficiellement. L'application « doit faire penser l'apprenant ». Dans le domaine des hypermédiats il est certes fréquent d'observer que les apprenants les plus impliqués dans l'activité sont ceux qui apprennent le

mieux (par ex. Barak et Rafaeli, 2004 ; Pearce et al., 2005). Certes, les effets de la profondeur de traitement sur l'apprentissage sont aujourd'hui incontestés, y compris dans notre domaine (Oulasvirta, 2004). Mais on peut répondre à Mayes et Fowler que Skadberg et Kimmel (2004) ont montré dans une expérience récente que l'utilisabilité a un effet positif sur l'implication de l'apprenant dans la tâche et sur sa performance d'apprentissage. Notre cadre, qui propose de concevoir l'activité de l'apprenant avec un hypermédia comme une double tâche semble cohérent avec ce résultat empirique, qui contredit l'argument de Mayes et Fowler, fondé sur une conception de l'activité en un seul niveau.

Un autre argument, défendu dès les premiers hypertextes par un auteur comme Bernstein (1993), consiste à dire que la navigation dans les hypermédias ne relève pas de critères d'efficacité. Une bonne navigation peut être très redondante, très peu économique. Cet argument a été étayé empiriquement par Tricot et Coste (1995), qui montrent que les étudiants qui réussissent le mieux la tâche d'apprentissage prescrite sont ceux qui ont ouvert plusieurs fois certains nœuds pertinents de l'hypermédia. Cet argument a été repris plus récemment par McEneaney (2001) qui suggère par exemple que ce qui est dit dans la théorie de la flexibilité cognitive (Spiro et al., 1991) doit se traduire par des parcours avec une compacité élevée, c'est-à-dire avec une fréquence élevée d'activation des liens entre nœuds identiques.

7. Discussion générale

Dans le domaine des hypermédias pour l'apprentissage, les tâches et les variables dépendantes qui servent à évaluer l'apprentissage ou l'utilisation sont nombreuses et variées ; ce qui rend difficile la comparaison de résultats empiriques et conséquemment l'établissement de conclusions générales sur les hypermédias pour l'apprentissage. Malgré ce constat, cette revue de littérature permet de mettre en exergue les principaux facteurs pouvant jouer un rôle sur la charge cognitive des utilisateurs. Quatre principales sources de variation des coûts cognitifs ont été distinguées :

- le dispositif hypermédia ;
- les caractéristiques de l'apprenant ;
- la tâche d'apprentissage ;
- et l'utilisation de l'hypermédia.

Concernant les caractéristiques des dispositifs hypermédias, la variabilité des fonctions existantes, la quantité de fonctionnalités dans un même dispositif, ou encore la structuration des contenus et de l'accès à l'information peut entraîner des coûts cognitifs non pertinents pour l'apprentissage, ce qui se traduit par une augmentation de la charge extrinsèque. Les caractéristiques des utilisateurs joueraient davantage un rôle de modulateur sur les effets des hypermédias. Un haut niveau de connaissances antérieures du domaine permettrait de réduire la charge intrinsèque liée à la complexité du contenu et devrait également favoriser la mobilisation de ressources cognitives pour la charge cognitive essentielle. En revanche, des connaissances antérieures relatives à l'utilisation de l'outil hypermédia favoriseraient une réduction de la charge extrinsèque liée à l'utilisation de l'outil. Enfin les capacités cognitives de l'utilisateur devraient permettre à la fois une réduction des charges cognitives intrinsèques (ex. la capacité de la MDT) et extrinsèques (ex. habiletés spatiales) et favoriseraient l'accroissement de la

charge cognitive essentielle (ex. métacognition). Il est difficile de statuer sur les effets des tâches sur les formes de la charge cognitive. Néanmoins, nous pouvons raisonnablement penser que l'effet de la tâche sur la charge cognitive dépendra des objectifs d'apprentissages visés et des caractéristiques des utilisateurs. Enfin, les tâches de navigation interviendraient directement sur la charge cognitive extrinsèque en exigeant de la part de l'utilisateur la mise en œuvre de processus de prise de décision, de planification et d'apprentissage de la structure de l'hypermédia. Mais, ces exigences pourraient favoriser la charge cognitive essentielle pour des utilisateurs porteurs de ressources cognitives adéquates dans le sens où les exigences de la tâche permettront la mobilisation des ressources nécessaires à un traitement profond. Au final, il ressort que ces différentes sources de variations entretiennent des relations qui vont amener des régulations sur les processus en jeu lors de l'utilisation d'un hypermédia et donc sur les performances observées en sortie. Il est donc important d'étudier les effets d'interaction entre ces différents facteurs sur les activités d'utilisation et d'apprentissage.

Ainsi, du point de vue de la théorie de la charge cognitive, une tâche d'utilisation d'un hypermédia n'est strictement rattachée à une forme de la charge cognitive de l'utilisateur mais bien aux trois formes. C'est le rapport entre ces trois formes qui déterminera l'efficacité d'utilisation et de l'apprentissage. Comme nous l'avons vu dans cet article, selon une grande diversité de facteurs, une même tâche pourra mobiliser des ressources plus ou moins pertinentes pour l'apprentissage. C'est pourquoi une tâche exigeant un apprentissage actif au sens de la théorie de la flexibilité cognitive pourra montrer un bénéfice dans la mesure où l'apprenant dispose des ressources nécessaires à la construction et l'automatisation des schémas (charge essentielle).

Pour valider notre interprétation des effets liés à la charge cognitive dans l'utilisation des hypertextes ainsi que les interprétations sur la charge cognitive et la désorientation avancées dans de nombreuses études, il est nécessaire de conduire de futures études fondées sur une approche méthodologique adaptée à une évaluation des coûts cognitifs. La théorie de la charge cognitive est un cadre pertinent pour ce type d'approche car elle propose aussi bien un modèle explicatif des processus d'apprentissage qu'un cadre méthodologique. Au-delà de cette théorie, d'autres modèles tels que les modèles d'activation de la mémoire de travail, comme le modèle énergétique de Cowan (2001), nous apparaissent particulièrement pertinents pour l'explication de l'allocation des ressources attentionnelles aux différentes dimensions de l'utilisation d'un hypermédia et le traitement sélectif de ces dimensions. Les méthodes d'enregistrement des mouvements oculaires ou d'analyse des protocoles d'interaction sont également une perspective intéressante pour l'étude de l'évolution des comportements au cours de l'activité et de la régulation de charge cognitive au cours de la tâche.

Enfin, les prochaines études du domaine devraient également davantage se centrer sur l'analyse des relations entre les formes de charges cognitives, la désorientation, l'utilisation et l'apprentissage. Par exemple, quelques études empiriques (Tricot et Coste, 1995 ; Tricot et Lafontaine, 2002) nous conduisent à penser que l'étude des relations entre apprentissage et utilisation doit surtout dépasser le cadre des analyses de corrélation. Une corrélation linéaire entre deux variables, avec par exemple r supérieur à 0,80, indique que quand les valeurs de x augmentent, celles de y augmentent, et quand y augmente, x augmente, quand x diminue, y diminue, et enfin, quand y diminue x diminue. Une telle relation correspond, en termes logiques, à l'équivalence. Or, le problème qui nous intéresse n'est pas de cette forme. L'utilisation de l'hypermédia est un moyen qui permet d'atteindre un but, l'apprentissage. En d'autres termes, le problème abordé est plutôt de la forme « si l'utilisateur veut avoir des chances d'ap-

prendre, alors il faut qu'il soit capable d'utiliser aisément l'hypermédia », donc, en termes logiques une relation d'implication. On pourra alors observer des cas où l'utilisation efficace, dans le sens où l'utilisateur ouvre les nœuds pertinents, n'entraîne pas un apprentissage, sans que cela ne contredise la relation d'implication. Pourtant, au niveau d'une mesure de corrélation, quelques observations avec une utilisation efficace et pas d'apprentissage entraîneraient une chute de la valeur du r , et donc une conclusion du type « il n'y a pas de relation entre l'utilisation et l'apprentissage ». La relation entre un moyen et un but n'est pas, la plupart du temps, symétrique mais orientée. L'analyse implicative (Gras et al., 2001) nous semble constituer un cadre bien plus satisfaisant que l'analyse des corrélations pour interpréter les relations entre les variables mesurant l'apprentissage et celles mesurant l'utilisation.

Références

- Azevedo, R., Cromley, J.G., Seibert, D., 2004. Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology* 29, 344–370.
- Baddeley, A., 1986. Working memory. Clarendon Press, Oxford.
- Barak, M., Rafaeli, S., 2004. On-line question-posing and peer-assessment as means for web-based knowledge sharing in learning. *Int. J. Human-Computer Studies* 61, 84–103.
- Bera, S., Liu, M., 2006. Cognitive tools, individual differences, and group processing as mediating factors in a hypermedia environment. *Computers in Human Behavior* 22, 295–319.
- Bernstein, M., 1993. Enactment in information farming. In: *Hypertext'93 Proceedings*. ACM Press, New York, pp. 242–249.
- Boechler, P.M., Dawson, M.R.W., 2002. The effects of navigational tool information on hypertext navigation behavior: a configural analysis of page-transition data. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 11, 95–115.
- Brinkerhoff, J.D., Klein, J.D., Koroghlian, C.M., 2001. Effects of overviews and computer experience on learning from hypertext. *Journal of Educational Computing Research* 25, 427–440.
- 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, 135–145.
- Chen, C., Rada, R., 1996. Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human-Computer Interaction* 11, 125–156.
- Chen, S.Y., 2002. A cognitive model for non-linear learning in hypermedia programmes. *British Journal of Educational Technology* 33, 449–460.
- Chen, S.Y., Fan, J.-P., Macredie, R.D., 2006. Navigation in hypermedia learning systems: experts vs. novices. *Computers in Human Behavior* 22, 251–266.
- Colombi, T., Baccino, T., 2004. Exploration visuelle et navigation dans les hypertextes : quelles stratégies ? Communication présentée au Colloque Ergo'IA, Biarritz, 17–19 Novembre.
- Conklin, J., 1987. Hypertext: a survey and introduction. *IEEE Computer* 20, 17–41.
- Cowan, N., 2001. The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences* 24, 87–185.
- Danielson, D.R., 2002. Web navigation and the behavioral effects of constantly visible site maps. *Interacting with Computers* 14, 601–618.
- De Jong, T., Van der Hulst, A., 2002. The effects of graphical overviews on exploratory behaviour and knowledge acquisition in hypertext environments. *Journal of Computer Assisted Learning* 18, 219–232.
- Dee Lucas, D., Larkin, J.H., 1995. Learning from electronic texts: effects of interactive overviews for information access. *Cognition and Instruction* 13, 431–468.
- DeStefano, D., LeFevre, J.-A., Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*. (sous presse).
- Dias, P., Sousa, A.P., 1997. Understanding navigation and disorientation in hypermedia learning environments. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia* 6, 173–185.
- Dillon, A., 2000. Spatial-semantics: how users derive shape from information space. *Journal of the American Society for Information Science* 51 (6), 521–528.

- Dillon, A., Gabbard, R., 1998. Hypermedia as an educational technology: a review of the quantitative research literature on learner comprehension, control, and style. *Review of Educational Research* 68 (3), 322–349.
- Dillon, A., McKnight, C., Richardson, J., 1993. Space - the final chapter or why physical representations are not semantic intentions. In: McKnight, C., Dillon, A., Richardson, J. (Eds.), *Hypertext: a psychological perspective*. Ellis Horwood, New York, pp. 169–191.
- Dillon, A., Vaughn, 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.
- 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.
- Eason, K.D., 1984. Towards the experimental study of usability. *Behavior Information Technology* 3, 133–143.
- Ericsson, K.A., Kintsch, W., 1995. Long-term working memory. *Psychological Review* 102, 211–245.
- Farris, J.S., Jones, K.S., Elgin, P.D., 2002. Users' schemata about hypermedia: what is so 'spatial' about a website? *Interacting with Computers* 14, 487–502.
- Federico, P.A., 1999. Hypermedia environments and adaptive instruction. *Computers in Human Behavior* 15, 653–692.
- Gras, R., Kuntz, P., Briand, H., 2001. Les fondements de l'analyse statistique implicative et quelques prolongements pour la fouille de données. *Mathématiques et Sciences Humaines* 154–155, 9–29.
- Hmelo-Silver, C.E., Pfeffer, M.G., 2004. Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science* 28, 127–138.
- Hsu, Y., Schwen, T.M., 2003. The effects of structural cues from multiple metaphors on computer users' information search performance. *Int. J. Human-Computer Studies* 58, 39–55.
- Kerwin, M.L., 2004. Evaluation of a computer-based instructional package about eating disorders. *Computers in Human Behavior* (in press).
- Kintsch, W., 1998. *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge University Press, New York.
- Kraus, L.A., Reed, W.M., Fitzgerald, G.E., 2001. The effects of learning style and hypermedia prior experience on behavioral disorders knowledge 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, 3–25.
- Lee, M.J., Tedder, M.C., 2003. The effects of three different computer texts on reader' recall: based on working memory capacity. *Computers in Human Behavior* 19, 767–783.
- 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, 491–498.
- Lin, D.-Y.M., 2003. Hypertext for the aged: effects of text topologies. *Computers in Human Behavior* 19, 201–209.
- Lin, D.-Y.M., 2004. Evaluating older adults' retention in hypertext perusal: impacts of presentation media as a function of text topology. *Computers in Human Behavior* 20, 491–503.
- Liu, M., 2004. Examining the performance and attitudes of sixth graders during their use of a problem-based hypermedia learning environment. *Computers in Human Behavior* 20, 357–379.
- Mayer, R.E. (Ed.), 2005. *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press, New York.
- Mayes, J.T., Fowler, C.J.H., 1999. Learning technology and usability: a framework for understanding courseware. *Interacting with Computers* 11, 485–497.
- McDonald, S., Stevenson, R.J., 1998. Navigation in hyperspace: an evaluation of the effects of navigational tools and subject matter expertise on browsing and information retrieval in hypertext. *Interacting with Computers* 10, 129–142.
- McEneaney, J.E., 2001. Graphic and numerical methods to assess navigation in hypertext. *Int. J. Human-Computer Studies* 55, 761–786.
- 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, 237–255.
- Nilsson, R.M., Mayer, R.E., 2002. The effects of graphic organizers giving cues to the structure of a hypertext document on users' navigation strategies and performance. *Int. J. Human-Computer Studies* 57, 1–26.
- Otter, M., Johnson, H., 2000. Lost in hyperspace: metrics and mental models. *Interacting with Computers* 13, 1–40.
- Oulasvirta, A., 2004. Task demands and memory in web interaction: a levels of processing approach. *Interacting with Computers* 16, 217–241.
- Padovani, S., Lansdale, M., 2003. Balancing search and retrieval in hypertext: context-specific trade-offs in navigational tool use. *Int. J. Human-Computer Studies* 58, 125–149.

- Paas, F., Renkl, A., Sweller, J., 2003. Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist* 38, 1–4.
- Pearce, J.M., Ainley, M., Howard, S., 2005. The ebb and flow of online learning. *Computers in Human Behavior* 21, 745–771.
- Perfetti, C.A., Rouet, J.-F., Britt, M.A., 1999. Towards a theory of documents representation. In: van Oostendorp, H., Goldman, S.R. (Eds.), *The construction of mental representations during reading*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 99–122.
- Pimentel, M., Ishiguro, Y., Kerimbaev, B., Abowd, G.D., Guzdial, M., 2001. Supporting educational activities through dynamic web interfaces. *Interacting with Computers* 13, 353–374.
- Potelle, H., Rouet, J.-F., 2003. Effects of content representation and readers' prior knowledge on the comprehension of hypertext. *Journal of Human-Computer Studies* 58, 327–345.
- Reed, W.M., Oughton, J.M., Ayersman, D.J., Ervin, J.R., Giessler, S.F., 2000. Computer experience, learning style, and hypermedia navigation. *Computers in Human Behavior* 16, 609–628.
- Rouet, J.-F., 2003. What was I looking for? The influence of task specificity and prior knowledge on students' search strategies in hypertext. *Interacting with Computers* 15, 409–428.
- Skadberg, Y.X., Kimmel, J.R., 2004. Visitors' flow experience while browsing a Web site: its measurement, contributing factors and consequences. *Computers in Human Behavior* 20, 403–422.
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Jacobson, M.J., Coulson, R.L., 1991. Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology* 31, 24–33.
- Squires, D., Preece, J., 1996. Usability and learning: evaluating the potential of educational software. *Computers and Education* 27, 15–22.
- Stanton, N., Correia, A.P., Dias, P., 2000. Efficacy of a map on search, orientation and access behaviour in a hypermedia system. *Computers and Education* 35, 263–279.
- Sweller, J., 2003. Evolution of human cognitive architecture. In: Ross, B.H. (Ed.), *The psychology of learning and motivation* vol. 43. Academic Press, New York, pp. 215–266.
- Thakor, M.V., Borsuk, W., Kalamas, M., 2004. Hotlists and Web browsing behavior - an empirical investigation. *Journal of Business Research* 57, 776–786.
- Tricot, A., Coste, J.-P., 1995. Evaluating complex learner-computer interaction: What criteria for what task? EARLI'95 Conference, Nijmegen, The Netherlands, August 26–31.
- Tricot, A., Lafontaine, J., 2002. Une méthode pour évaluer ensemble l'utilisation d'un outil multimédia et l'apprentissage réalisé avec celui-ci. *Le français dans le Monde*, Janvier, 41–52. .
- Tricot, A., Pierre-Demarcy, C., El Boussarghini, R., 2000. Specific help devices for educational hypermedia. *Journal of Computer Assisted Learning* 16, 102–113.
- Trumppower, D.L., Goldsmith, T.E., 2004. Structural enhancement of learning. *Contemporary Educational Psychology* 29, 426–446.
- Veenman, M.V.J., Prins, F.J., Elshout, J.J., 2002. Initial inductive learning in a complex computer simulated environment: the role of metacognitive skills and intellectual ability. *Computers in Human Behavior* 18, 327–341.
- 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, 93–130.
- Wright, P., 1990. Hypertext as an interface for learners: some human factors issues. In: Jonassen, D.H., Mandl, H. (Eds.), *Designing hypermedia for learning*. Springer Verlag, Berlin, pp. 169–184.
- Wright, P., 1991. Cognitive overheads and prostheses. In: *Hypertext '91 Proceedings*. ACM Press, New York, pp. 1–12.
- Yang, S.C., 2000. Hypermedia learning and evaluation: a qualitative study of learners' interaction with the Perseus Project. *Computers in Human Behavior* 16, 451–472.