



HAL
open science

Niveau de contrôle par l'apprenant de son épisode d'apprentissage hypermédia : influences sur son activité métacognitive et ses performances

Dorothee Fillet

► **To cite this version:**

Dorothee Fillet. Niveau de contrôle par l'apprenant de son épisode d'apprentissage hypermédia : influences sur son activité métacognitive et ses performances. Psychologie. Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne, 2010. Français. NNT : 2010REN20049 . tel-00565852

HAL Id: tel-00565852

<https://theses.hal.science/tel-00565852>

Submitted on 14 Feb 2011

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

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



THESE / Université Rennes2

*sous le sceau de l'Université européenne de
Bretagne*

pour obtenir le titre de

DOCTEUR en Psychologie Cognitive Expérimentale

Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

présentée par

Dorothee FILLET

Centre de Recherches en
Psychologie, Cognition et
Communication (EA-1285)

Niveau de contrôle par
l'apprenant de son
épisode d'apprentissage
hypermédia : Influences
sur son activité
métacognitive et ses
performances

Thèse soutenue en Décembre 2010
devant le jury composé de :

Aline CHEVALIER
Professeur, Université de Toulouse Le
Mirail / Présidente

Jean-François ROUET
Professeur, Université de Poitiers /
Rapporteur

Eric JAMET
Professeur, Université Rennes 2 /
Directeur de thèse

SOUS LE SCEAU DE L'UNIVERSITÉ EUROPEENNE DE BRETAGNE

UNIVERSITÉ RENNES 2 – Haute Bretagne

Ecole Doctorale « *Sciences Humaines et Sociales* »

Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication (EA – 1285)

Thèse de Doctorat

Discipline : Psychologie Cognitive Expérimentale

**Niveau de contrôle par l'apprenant de son épisode d'apprentissage
hypermédia : Influences sur son activité métacognitive et ses performances**

Présentée par **Dorothee FILLET**

Directeur de thèse : Eric JAMET

Soutenue publiquement en décembre 2009

Jury :

Aline CHEVALIER, Professeur, Université de Toulouse Le Mirail / Présidente

Jean-François Rouet, Professeur, Université de Poitiers / Rapporteur

Eric JAMET, Professeur, Université Rennes 2 / Directeur de thèse

Remerciements

Après 6 expériences, 417 passations, une soixantaine de participants attendus mais jamais venus, 2 blocages d'Université, 18 pots de laboratoires et 3 barbecues, 1 autographe de Jacques Pradel (Merci M. Lieury !), 3 déménagements de bureau, 3 colloques, 1 Fête de la Science, 6 soutenances de thèse, 36h de formation sur « Comment valoriser son doctorat ? », 6.3 kg de copies à corriger, n plaisanteries échangées et discussions footballistiques devant un sandwich / thé, n questions de type « alors, ça avance la thèse ? » / « Tu finis bientôt, non ? » / « Et après la thèse ? », 730 instants de doutes, soit 4 ans de thèse,

une page se tourne...

Merci

Aux membres du jury d'avoir accordé de leur temps pour examiner cette thèse.

À Eric de m'avoir fait confiance au long de ces années de thèse et celles d'avant. À Alain Lieury pour m'avoir donné le goût de la Psychologie cognitive il y a de cela 9 ans.

Au « corps enseignant » du LPE pour leur aide matérielle et morale (vos blagues « testostéronées » vont finalement me manquer...).

À mes prédécesseurs, Amaël, Dominique, Guillaume, Jing Qiang, Nadia, Séverine. À mes collègues de galère, Florence, Stéphane, Julie et Romain. Aux petits nouveaux : courage !

A Gilles pour le soutien technique apporté à 9h du mat', face à un Tobii T60 récalcitrant.

Merci aux participants qui ont eu l'envie de faire avancer la science ou à défaut la gentillesse de m'aider à avancer cette thèse.

Mille fois « merci » à ma famille pour leur soutien et merci à celui qui a eu la patience de m'attendre pendant 4 ans. Prêt à écrire une nouvelle page ?

Sommaire

Introduction générale.....	10
Expérience 1 : Détermination des facteurs de différenciation interindividuelle dans l'utilisation d'un document hypermédia en contexte d'apprentissage.....	12
1 Introduction.....	13
1.1 Modèle de Construction-Intégration (Kintsch, 1988, 1998).....	13
1.1.a Trois niveaux de traitement symboliques.....	13
• Représentation de surface du texte	13
• Représentation propositionnelle.....	13
• Modèle de situation.....	14
1.1.b Processus de traitement.....	14
• Les cycles de traitement du texte.....	14
• Les mécanismes de construction-intégration	15
1.2 Environnement hypermédia d'apprentissage : définition	16
1.3 Utilisation d'un environnement hypermédia et différences interindividuelles.....	18
1.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine	18
• Interaction avec la structure de l'environnement	18
• Interaction avec le contenu de l'environnement	20
• Niveau de connaissances préalables dans le domaine et risque de désorientation.....	23
1.3.b Niveau de connaissances / d'expérience préalable en informatique.....	26
1.3.c Niveau de dépendance à l'égard du champ.....	27
2 Hypothèses.....	29
3 Méthodologie expérimentale	29
3.1 Population d'étude	29
3.2 Matériel expérimental.....	30
3.3 Mesures effectuées.....	31
3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage.....	31
3.3.b Niveau de dépendance / indépendance à l'égard du champ	31
3.3.c Niveau d'anxiété informatique et niveau de connaissances réelles en informatique.....	32
3.3.d Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	33
3.3.e Performances d'apprentissage	34
3.3.f Indices de navigation	35
3.4 Procédure	35

4	Résultats expérimentaux	36
4.1	Stratégies de consultation mises en œuvre par les apprenants	36
4.2	Analyse en modèle structural concernant les différences interindividuelles.....	39
4.3	Analyses des performances au post-questionnaire de connaissances.....	41
4.4	Analyses du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	42
4.5	Analyses des stratégies de consultation	43
4.5.a	Analyses qualitatives des parcours de navigation	43
4.5.b	Analyses quantitatives des parcours de navigation	44
5	Conclusion.....	46

Expérience 2 : Effet de la contrainte temporaire du séquençage lors de l'apprentissage d'un document hypermédia selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine

		49
1	Introduction.....	50
1.1	Modèle de situation et représentation de la structure de l'hypertexte	50
1.2	Niveau de connaissances préalables dans le domaine et stratégie de consultation	54
1.3	Niveau de connaissances préalables et contrôle de l'épisode d'apprentissage	56
2	Hypothèses.....	57
3	Méthodologie expérimentale.....	59
3.1	Population d'étude	59
3.2	Matériel expérimental.....	59
3.3	Mesures effectuées.....	61
3.3.a	Niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage.....	61
3.3.b	Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	62
3.3.c	Performances d'apprentissage	62
3.3.d	Epreuve de rappel de la structure du document	62
3.3.e	Indices de navigation.....	63
3.4	Procédure	63
4	Résultats	64
4.1	Analyses des performances d'apprentissage	64
4.2	Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	66
4.3	Analyses des indices de navigation.....	67
4.3.a	Analyse qualitative des stratégies de consultation.....	67
4.3.b	Analyse quantitative des parcours de consultation	68
5	Conclusion.....	69

Expérience 3 : Contrôle libre ou limité de l'épisode d'apprentissage hypermédia : Une question de différence de métacompréhension ?.....73

1	Introduction.....	74
1.1	Les apprenants sont-ils les meilleurs juges de leur apprentissage ?	74
1.2	Illusion de savoir	76
1.3	Effet de l'attribution d'un feedback sur la métacompréhension.....	78
2	Hypothèses.....	81
3	Méthodologie expérimentale	82
3.1	Population d'étude	82
3.2	Matériel expérimental.....	83
3.3	Mesures effectuées.....	85
3.3.a	Niveau de connaissances préalables dans le domaine	85
3.3.b	Métacompréhension.....	85
3.3.c	Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	86
3.3.d	Performances d'apprentissage.....	86
3.3.e	Epreuve de rappel de la structure du document	86
3.3.f	Indices de navigation	87
3.4	Procédure	87
4	Résultats	87
4.1	Analyse des performances d'apprentissage.....	88
4.2	Analyses du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	89
4.3	Analyses des questionnaires de métacompréhension.....	90
4.4	Analyses de régression concernant les performances de compréhension	92
5	Conclusion.....	93

Expérience 4 : Apprentissage hypermédia, un apprentissage autorégulé : Enregistrement des mouvements des yeux et verbalisation différée de l'activité ..97

1	Introduction.....	98
1.1	Apprentissage hypermédia : un apprentissage autorégulé.....	98
1.2	Processus métacognitifs et performances d'apprentissage.....	100
1.2.a	Activité métacognitive et connaissances préalables dans le domaine	101
1.2.b	Apprentissage hypermédia et soutien à la métacognition	103
2	Hypothèses.....	104
3	Méthodologie expérimentale	105
3.1	Population d'étude	105
3.2	Matériel expérimental.....	106
3.3	Mesures effectuées.....	107

3.3.a	Niveau de connaissances préalables dans le domaine	107
3.3.b	Enregistrement du mouvement des yeux	107
3.3.c	Activité métacognitive déclarée	108
3.3.d	Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	110
3.3.e	Indices de navigation.....	111
3.3.f	Questionnaire de connaissances	111
3.4	Procédure	112
4	Résultats	113
4.1	Analyse des performances d'apprentissage.....	113
4.2	Analyse de l'activité métacognitive.....	114
4.2.a	Analyse des processus métacognitifs déclarés	114
4.2.b	Analyses des indices de navigation.....	116
4.2.c	Analyse du questionnaire d'activité métacognitive perçue	118
4.3	Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	119
4.4	Analyse quantitative et qualitative des mouvements oculaires	120
4.5	Analyse qualitative des protocoles verbaux différés	123
5	Conclusion.....	124

Expérience 5 : Utilisation d'un document hypermédia pour l'apprentissage : niveau de contrôle et charge cognitive.....128

1	Introduction.....	129
1.1	Apprentissage hypermédia et capacités limitées de la mémoire de travail	129
1.2	Théories de la charge cognitive	133
1.2.a	Théorie de la charge cognitive (Sweller, 1999).....	133
	• Charge cognitive intrinsèque	133
	• Charge cognitive inutile.....	134
	• Charge cognitive pertinente	134
1.2.b	Théorie augmentée de la charge cognitive (Gerjets & Scheiter, 2003)	135
1.3	Activité d'apprentissage et activité de navigation : quelle répartition des ressources cognitives ?	137
2	Hypothèses.....	140
3	Méthodologie expérimentale.....	142
3.1	Population d'étude	142
3.2	Matériel expérimental.....	143
3.3	Mesures effectuées.....	143
3.3.a	Niveau de connaissances préalables dans le domaine	143
3.3.b	Charge cognitive	144

3.3.c	Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	145
3.3.d	Questionnaire d'activité métacognitive perçue.....	145
3.3.e	Questionnaire de connaissances.....	146
3.4	Procédure	146
4	Résultats	147
4.1	Analyse des performances d'apprentissage.....	147
4.2	Analyse des performances à la triple tâche.....	147
4.3	Analyse de l'activité métacognitive perçue	148
4.4	Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	149
4.5	Analyse des stratégies de navigation	150
4.6	Analyse des comportements de révision	151
5	Conclusion.....	152
 Expérience 6 : Effet de modalité inversé lors d'un apprentissage hypermédia.....		155
1	Introduction.....	156
1.1	Modèle intégratif de la compréhension de textes et d'images de Schnotz (2005).....	158
1.2	Principe de modalité	160
1.3	Effet de modalité et contrôle du rythme de présentation.....	162
2	Hypothèse	163
3	Méthodologie expérimentale.....	164
3.1	Population d'étude	164
3.2	Matériel expérimental.....	164
3.3	Mesures effectuées.....	165
3.3.a	Niveau de connaissances préalables dans le domaine	165
3.3.b	Activité métacognitive perçue.....	165
3.3.c	Niveau de charge cognitive perçue	166
3.3.d	Indices de navigation.....	166
3.3.e	Questionnaire de connaissances.....	166
3.4	Procédure	167
4	Résultats	167
4.1	Analyse des performances d'apprentissage.....	167
4.2	Analyse de la charge cognitive perçue.....	169
4.3	Analyse du questionnaire d'activité métacognitive perçue.....	170
4.4	Analyse des comportements de révision	171
5	Conclusion.....	172
 Discussion générale.....		174

Bibliographie	179
Index des figures	194
Index des tableaux	196
Annexes	199
Annexe 1: Pré-questionnaire de connaissances	200
Annexe 2: Résumé des modèles d'anxiété informatique publiés dans la littérature et utilisés pour la construction du questionnaire	201
Annexe 3: Construction du questionnaire d'anxiété informatique.....	203
Annexe 4: Analyse factorielle du questionnaire d'anxiété informatique.....	206
Annexe 5: Evaluation des connaissances réelles en informatique.....	207
Annexe 6: Questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	209
Annexe 7: Questionnaire de connaissances.....	210
Annexe 8: Epreuve de rappel de la structure du document	211
Annexe 9: Questions utilisées dans le QCM inséré	212
Annexe 10: Pré / post-questionnaire d'évaluation de la métacompréhension	214
Annexe 11: Tableau de codage des verbalisations recueillies	215
Annexe 12: Questionnaire d'activité métacognitive perçue.....	218
Annexe 13: Analyse factorielle du questionnaire d'activité métacognitive perçue	220
Annexe 14: Questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage (2)	221
Annexe 15: Grille de codage utilisée pour la triple tâche	223

Introduction générale

A l'heure où l'utilisation d'Environnements Numériques de Travail devient systématique dans les Universités, permettant la formation à distance et la mise à disposition par les enseignants de compléments de cours en présentiel, se développe un ensemble d'outils de création de contenus, faciles d'utilisation car ne requérant pas de connaissances particulières en programmation. Par exemple, le logiciel Articulate Presenter, utilisé pour créer les documents servant de support aux études ici présentées, permet la production de documents d'apprentissage de type « hypermédia » sur la base d'un simple diaporama. Repose alors sur l'enseignant la responsabilité de déterminer non seulement le contenu informationnel à transmettre, mais aussi les médias à intégrer dans le document, la présence ou non d'activité, *e. g.* de type « quizz », et les caractéristiques d'utilisation du document telles que la structuration du document, le mode de navigation dans les informations, le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage accordé à l'apprenant, entre autres. Si le domaine d'étude des apprentissages multimédias est suffisamment développé aujourd'hui pour répondre à la plupart des questions de ces enseignants en termes de présentation des informations, reste encore une inconnue concernant le niveau de contrôle à accordé aux apprenants sur leur épisode d'apprentissage, notamment en ce qui concerne les apprentissages hypermédias.

Les objectifs de ce travail de recherche sont donc de déterminer le(s) facteur(s) influençant l'utilisation des fonctions de contrôle dans un environnement d'apprentissage hypermédia, et de comprendre comment ce(s) facteur (s) influence(nt) à la fois l'utilisation de l'environnement d'apprentissage et les performances d'apprentissage, ceci afin de pouvoir dégager des pistes de réflexion concernant la conception d'environnements d'apprentissage hypermédias adaptés au plus grand nombre.

Sur la base d'une revue de la littérature non exhaustive, un ensemble de caractéristiques individuelles des apprenants qui semblent avoir un effet sur l'activité d'apprentissage hypermédia est déterminé, et une analyse en modèle structural est employée afin d'étudier l'impact de chacune sur l'activité (étude 1). Des éléments d'explication concernant la relation entre niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et performances d'apprentissage sont apportés par la suite, du point de vue des « traitements cognitifs » mis en place par les apprenants (étude 2) et de leur « activité métacognitive » (études 3 et 4). Cette double perspective est complétée par l'étude de la charge cognitive induite par l'activité cognitive et

métacognitive de l'apprenant (étude 5) durant son épisode d'apprentissage. Enfin, une sixième étude est conduite en vue d'établir une relative cohérence dans cette série de travaux.

Expérience 1 : Détermination des facteurs de différenciation interindividuelle dans l'utilisation d'un document hypermédia en contexte d'apprentissage

Résumé :

L'avantage premier d'un environnement hypermédia serait la possibilité d'adapter l'épisode d'apprentissage aux besoins de chaque apprenant, de par la flexibilité de consultation offerte. Cependant, cette flexibilité ne bénéficie pas à tous les apprenants, certaines différences interindividuelles modulant l'efficacité « supposée » de l'apprentissage hypermédia, telles que le niveau de connaissances préalables dans le domaine, le niveau d'expérience en informatique ou encore le niveau de dépendance à l'égard du champ.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le poids de chacune de ces caractéristiques de l'apprenant sur un épisode d'apprentissage hypermédia. Pour ce faire, des stratégies de navigation sont qualifiées a posteriori et les comportements de navigation sont quantifiés afin de réaliser des analyses en modèles structuraux. Il apparaît que le niveau de connaissances préalables dans le domaine influence non seulement les performances d'apprentissage et le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, mais aussi les comportements de navigation, notamment la mise en place de comportements de révision, bénéfiques à la compréhension des informations contenues dans l'environnement hypermédia.

1 Introduction

La définition de ce qu'est un environnement d'apprentissage hypermédia nécessite dans un premier temps de définir ce qui est entendu par « apprentissage ». Ici, le terme « apprentissage » est utilisé dans un sens non limité à la mémorisation du contenu informationnel mais étendu à sa compréhension. Aussi, ce chapitre débute par la description d'un modèle de compréhension en lecture, le modèle de Construction-Intégration de Kintsch (1988, 1998).

1.1 Modèle de Construction-Intégration (Kintsch, 1988, 1998)

1.1.a Trois niveaux de traitement symboliques

Pour Van Dijk et Kintsch (1983) et Kintsch (1988, 1998), la compréhension d'un texte exige l'élaboration successive de trois représentations mentales du contenu sémantique du texte : une représentation de surface, une représentation propositionnelle et un modèle de situation, décrites ci-après.

- **Représentation de surface du texte**

Cette représentation contient les caractéristiques de surface du texte renvoyant aux aspects lexicaux et syntaxiques, et aux informations paralinguistiques comme la ponctuation. Sur les unités de signification de la représentation de surface, sont appliquées des propriétés sémantiques et pragmatiques, ce qui permet d'aboutir à des schémas propositionnels représentant des faits.

- **Représentation propositionnelle**

La représentation propositionnelle se décompose en deux structures se distinguant par la complexité de leurs schémas propositionnels : la microstructure et la macrostructure.

La microstructure renvoie à un ensemble de propositions organisant localement les informations issues du texte. Cette structure représente les phrases du texte et leurs relations immédiates sous la forme de propositions (prédicats et arguments) organisées en un réseau structuré. Le maintien de la cohérence à l'intérieur de la microstructure repose sur le principe de recouvrement des arguments. Des connexions sont créées entre les arguments communs des propositions et ces différentes propositions sont hiérarchisées en fonction du nombre

d'arguments partagés. Ainsi, une proposition partageant des arguments communs avec plusieurs autres propositions est relayée en haut de la hiérarchie des propositions dans la microstructure. Cette hiérarchisation des schémas propositionnels permet l'application d'un « macrotraitement » pour aboutir à une représentation propositionnelle organisée globalement : la macrostructure.

La macrostructure renvoie à un ensemble de propositions hiérarchisées représentant la structure globale du texte. A ce stade du traitement du texte, il est possible de comprendre le propos développé dans le texte mais, la réalisation d'inférences reste le propre du troisième niveau de représentation, le modèle de situation.

Ce niveau de représentation est désigné sous le terme « base de texte » puisqu'il n'est construit qu'à partir des informations linguistiques du texte.

- **Modèle de situation**

Le modèle de situation intègre la représentation des éléments du texte et les connaissances antérieures de l'individu. Au fur et à mesure de la lecture, le modèle de situation est modifié : il permet à la fois de faire des inférences et est le résultat de processus inférentiels. Ces inférences permettent de combiner les apports explicites du texte et les connaissances antérieures de l'individu, en vue de produire de nouvelles informations qui contribuent à la cohérence globale de la représentation interne. Le modèle de situation permet aux lecteurs de réaliser des activités complexes telles que des tâches de raisonnement, de résolution de problème ou d'acquisition de nouvelles informations.

La transmission des informations entre ces trois niveaux de représentation interne est liée à l'intervention de différents processus de traitement des informations (Kintsch, 1998) : processus de construction et d'intégration.

1.1.b Processus de traitement

- **Les cycles de traitement du texte**

La compréhension d'un texte se réalise au terme de plusieurs cycles successifs de traitement des informations. Ces cycles assurent l'introduction de nouvelles informations en mémoire de travail, et contribuent à maintenir la cohérence de la représentation propositionnelle à l'aide de processus inférentiels de liaison. Au cours de chaque cycle de traitement, les différents arguments présents simultanément en mémoire de travail font l'objet

de connexions grâce à des processus inférentiels de liaison. Si le cycle de traitement ne comporte pas l'argument nécessaire à l'élaboration d'une nouvelle connexion référentielle avec l'argument entrant, alors des processus inférentiels de recherche de liaison sont engagés parmi les propositions précédemment traitées. Si cette recherche se solde par un échec, alors le lecteur est contraint d'élaborer une inférence élaborative à partir de ses propres connaissances. La nouvelle proposition inférée est ensuite ajoutée au cycle en cours afin de restaurer la cohérence de la représentation interne du texte. Au cours de chaque cycle de traitement, différents réseaux associatifs de propositions sont produits par le processus de construction puis sélectionnés, en fonction de leur pertinence, par le processus d'intégration.

- **Les mécanismes de construction-intégration**

Kintsch (1988) postule que la compréhension de texte implique l'élaboration de réseaux associatifs d'unités de connaissances reliées les unes aux autres. Ces réseaux associatifs combinent, sur la base de processus inférentiels, des unités d'informations provenant de la mémoire à long terme et des informations élaborées à partir du contenu du texte. La construction de ces réseaux est soumise à deux processus : un processus de construction et un processus d'intégration. Le processus de construction renvoie à un système de production de règles permettant d'activer des propositions sous la forme d'un réseau associatif. Ces règles interviennent pour permettre la construction de micropropositions et de macropropositions, l'interconnexion des propositions dans le réseau, l'activation du voisinage de noeuds et la construction d'inférences basées sur l'activation des connaissances en mémoire à long terme. Ces règles de production engendrent des réseaux associatifs pertinents mais aussi des réseaux associatifs non appropriés par rapport à l'idée développée dans le texte. Le processus d'intégration permet alors de renforcer les noeuds pertinents activés et d'éliminer les noeuds inappropriés afin de garantir la pertinence du réseau associatif au cours du traitement du texte. A chaque nouveau cycle de traitement, ces deux processus se succèdent afin d'assurer la cohérence et la pertinence des représentations mentales.

L'apprentissage d'un document, *i. e.* sa compréhension, renvoie à la construction par l'apprenant d'une représentation mentale cohérente dans laquelle sont intégrées les informations du texte et les connaissances préalables de l'apprenant : le modèle de situation. En utilisant cette représentation qu'il s'est construit, l'apprenant doit être capable de répondre à des questions, résoudre des problèmes ou encore transférer les informations acquises à des situations nouvelles.

1.2 Environnement hypermédia d'apprentissage : définition

Un environnement hypermédia d'apprentissage se définit comme un environnement qui, grâce à des liens hypertextes, permet un accès non-linéaire et sélectif à plusieurs sources d'informations de natures différentes : informations textuelles, graphiques, animations et / ou vidéos (Azevedo & Cromley, 2004). Les apprenants consultent alors les unités d'informations qui composent l'environnement, unités appelées « nœuds », selon les liens hypertextes qu'ils estiment pertinents. Ainsi, un document hypermédia se distingue d'un document hypertexte uniquement par le fait qu'il contient différents formats de représentation de l'information (Scheiter & Gerjets, 2007) d'où le néologisme « hypermédia ». Celui-ci est construit sur le fait que ce type de document n'est autre qu'une combinaison des « techniques hypertextes », *i. e.* la présentation d'informations organisées de façon non-linéaire, et des « techniques multimédias » qui permettent, aujourd'hui, d'intégrer dans un même document des informations textuelles, imagées et/ ou sonores.

Du fait de la structure non-linéaire de ce type de document et donc de la liberté de navigation dans ce réseau de nœuds d'informations, les apprenants sont pourvus d'un contrôle sur leur épisode d'apprentissage. Ce contrôle prend trois formes (Milheim & Martin, 1991 ; Mitchell, Chen & Macredie, 2005) :

- Les apprenants peuvent contrôler leur rythme de consultation des informations (*pace control*),
- Les apprenants peuvent décider dans quel ordre ils souhaitent consulter les noeuds d'informations (*sequence control*),
- Les apprenants peuvent décider quel noeud d'informations ils souhaitent ou non consulter (*content control*).

Utiliser un document hypermédia dans le cadre d'un apprentissage représente pour l'apprenant une double activité : une activité d'apprentissage du contenu informationnel du document et une activité d'utilisation de l'hypermédia (Amadiou et Tricot, 2006). L'activité d'utilisation du document constitue alors le moyen d'atteindre l'objectif premier d'apprentissage du contenu du document.

Amadiou et Tricot déterminent quatre éléments principaux à prendre en compte dans toute analyse d'un apprentissage hypermédia (cf. Figure 1) : l'apprenant, les caractéristiques de

l'environnement hypermédia, la tâche d'apprentissage et la tâche d'utilisation de l'hypermédia, réalisées en parallèle par l'apprenant.

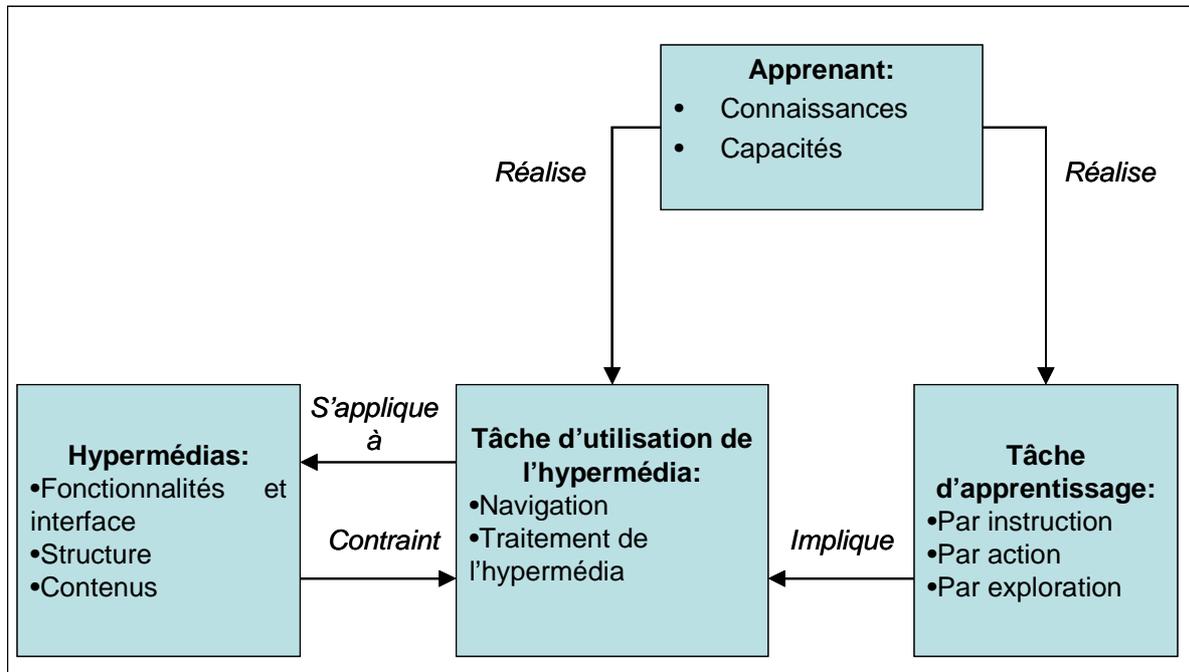


Figure 1: Représentation des composantes d'une situation d'apprentissage hypermédia (d'après Amadiou & Tricot, 2006)

Quelle que soit la tâche d'apprentissage de l'apprenant, sa réalisation implique qu'il utilise un ensemble de fonctionnalités de navigation disponible dans l'environnement hypermédia. La performance à la tâche d'utilisation de l'hypermédia est contrainte non seulement par le format de présentation des informations, *i. e.* la structure du contenu informationnel et les divers médias qui peuvent être employés, mais aussi par les outils de navigation mis à la disposition de l'utilisateur.

L'utilisation d'un document hypermédia pour la réalisation d'une tâche d'apprentissage peut être définie comme la transformation d'un but d'apprentissage, rechercher une information ou uniquement comprendre le contenu du document, en une tâche de navigation. L'apprenant doit élaborer une représentation de son but en termes de contenu d'informations. Il doit ensuite traduire ce contenu en termes de localisation d'un ou plusieurs noeuds d'informations à consulter dans le document, et l'atteinte de ces noeuds d'informations en une suite d'actions ou parcours de navigation, ce qui implique l'utilisation de fonctionnalités et une prise de décisions quant à la stratégie à adopter.

La réalisation de la double tâche que représente un apprentissage hypermédia dépend alors non seulement de la structure du contenu et des outils de navigation, mais aussi et surtout des caractéristiques individuelles de l'apprenant.

1.3 Utilisation d'un environnement hypermédia et différences interindividuelles

Dans une revue de question sur l'utilisation des documents hypermédiés dans le domaine de l'éducation, Dillon et Gabbard (1998) extraient des études recensées quatre fonctions générales de ce type de document qui pourraient expliquer son fort potentiel comme support d'apprentissage :

- Un accès non-linéaire à une grande quantité d'informations,
- Une possibilité pour l'apprenant d'explorer plus profondément et à la demande les informations,
- Une possibilité pour l'apprenant de procéder à son rythme,
- Sa nature « engageante », du fait du contrôle offert à l'apprenant sur son épisode d'apprentissage.

Les avantages premiers d'un document hypermédia seraient donc la possibilité d'adapter l'épisode d'apprentissage aux besoins de chaque apprenant, d'augmenter la motivation des apprenants, de contraindre les apprenants à traiter de manière active le document ou encore de refléter la façon dont les connaissances sont organisées en mémoire (cf. Scheiter & Gerjets, 2007). Cependant, la liberté de navigation offerte par un environnement hypermédia ne bénéficie pas à tous les apprenants, certaines différences interindividuelles modulant « l'efficacité » supposée de l'apprentissage hypermédia, telles que le niveau d'expérience en informatique de l'apprenant, son style cognitif ou son niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage.

1.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine

• Interaction avec la structure de l'environnement

Le terme de structure est employé pour décrire la façon dont sont organisées les informations dans un document hypermédia, *i. e.* comment les noeuds d'informations sont

physiquement connectés ensemble par les liens hypertextes. Dillon et Jobst (2005) recensent trois types de structure (cf. Figure 2) :

- Structure linéaire

L'utilisateur progresse d'un noeud d'informations à l'autre de façon séquentielle.

- Structure hiérarchique

Le document est basé sur un premier noeud d'informations à partir duquel les autres noeuds sont reliés avec un niveau croissant de détails. Chaque noeud est relié à un ou plusieurs noeuds du niveau de détails qui le précède et qui le suit directement.

- Structure en réseau ou mixte

Ce type de structure est conçu comme une alternative aux deux précédentes, dans le sens où en plus de liens hiérarchiques entre les nœuds d'informations, ces derniers peuvent être reliés ensemble à un même niveau de détails ou entre deux niveaux de détails qui ne se suivent pas directement.

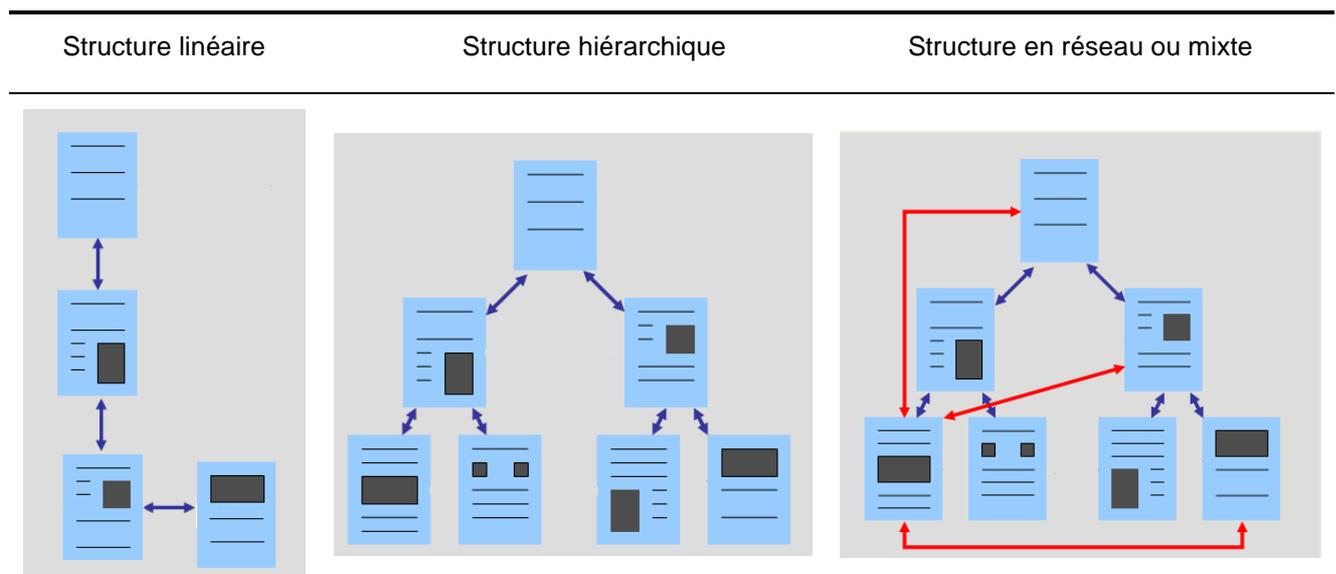


Figure 2: Exemples de structure hypertextuelle

Shapiro (1998) comparent les trois types de structures définies auparavant dans un document hypermédia portant sur « l'Age d'or de l'Amérique ». Sans apporter de contraste entre les participants ayant ou non des connaissances préalables dans le domaine, l'auteur observe tout de même que les apprenants ayant utilisé un document hypermédia structuré hiérarchiquement obtiennent de meilleures performances dans la compréhension de la structure des noeuds d'informations. Cependant, aucune différence significative n'apparaît au niveau de la compréhension du contenu du document, dans les réponses aux questions de

connaissances ou dans la rédaction de l'essai demandée. Nimwegen, Pouw et van Oostendorp (1999) demandent aux participants de leur étude de répondre à un questionnaire en utilisant un guide hypermédia de la ville d'Utrecht. Ce guide est présenté soit dans un format « structure de contenu hiérarchique », soit dans un format « structure de contenu mixte ». Aucune différence en termes de nombre de bonnes réponses n'est observée entre les deux groupes. Cependant, les participants en condition « structure de contenu hiérarchique » ont été en moyenne plus rapides et ont eu besoin de consulter moins de noeuds pour réaliser la tâche par rapport aux participants de la condition « structure de contenu mixte ».

Calisir et Gurel (2003) examinent l'influence de ces trois structures de contenu sur les performances d'apprentissage en prenant en compte le niveau de connaissances des participants dans le domaine. Ils présentent un hypertexte à des étudiants, dont la moitié a déjà acquis en cours des notions dans le domaine d'apprentissage. Les auteurs concluent que la structure hiérarchique des informations est la plus appropriée pour les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine et émettent l'hypothèse qu'en leur fournissant une structure claire de l'hypertexte, le format hiérarchique permettrait à ces apprenants de compenser leur manque de structure conceptuelle dans le domaine d'apprentissage. Plus tard, Calisir répliquent ses résultats, observant que les performances d'apprentissage des apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine ne se distinguent pas entre les trois structures de contenus, tandis que les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables obtiennent de meilleures performances en condition « structure hiérarchique » (Calisir, Eryazici, & Lehto, 2008).

Alors que les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine atteignent leur objectif d'apprentissage quelle que soit la structure de l'environnement hypermédia, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables obtiennent de meilleures performances lorsque le document est structuré hiérarchiquement.

● **Interaction avec le contenu de l'environnement**

Dans la littérature, la navigation dans un document hypermédia est souvent discutée sous l'angle de l'utilisation d'une carte conceptuelle. Une carte conceptuelle est une représentation graphique du document hypertextuel, contenant des objets représentant les noeuds d'informations, *e. g.* des cartouches contenant le titre des noeuds d'informations, et les

liens entre les nœuds représentés par des lignes ou des flèches (Nilsson & Mayer, 2002). Elle reflète donc la structure du document hypermédia.

McDonald et Stevenson (1998b) examinent l'efficacité de deux outils de navigation sur la performance d'apprentissage d'étudiants en psychologie pour moitié, et d'étudiants issus d'autres filières. Il est demandé aux apprenants de consulter un document hypertexte sur le thème de « la nature de l'apprentissage humain », en vue de répondre à un questionnaire portant sur le contenu. Pour cela, les apprenants disposent :

- Soit d'une « carte hiérarchique », ce qui renvoie à une représentation des concepts dans laquelle les apprenants peuvent naviguer par des liens menant à des nœuds d'informations sur ou subordonnés, *i. e.* contenant des informations plus générales ou plus spécifiques.
- Soit d'une « liste de contenu », dans lequel les apprenants naviguent grâce à une simple liste des thèmes relatifs aux différents nœuds d'informations.

L'analyse des résultats met en avant une interaction entre le niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine et les outils de navigation utilisés. Les participants disposant de peu de connaissances préalables ont de meilleurs résultats au questionnaire en condition « carte hiérarchique », par rapport à ceux ayant utilisé une liste de contenu. De plus, si les apprenants ayant des connaissances préalables obtiennent plus de bonnes réponses que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures en condition « liste de contenu », il n'y a en revanche pas de différence significative de performances d'apprentissage entre eux en condition de navigation par « carte hiérarchique ». Autrement dit, l'outil de navigation « carte hiérarchique » aide les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine à compenser ce manque de connaissances.

De même, Potelle et Rouet (2003) examinent l'influence de différents outils de navigation sur la compréhension d'un système hypertexte en proposant aux participants, tous étudiants en psychologie mais à des niveaux d'étude différents, une tâche d'apprentissage portant sur l'influence sociale. Les participants sont répartis dans trois groupes : (1) navigation par « carte hiérarchique », (2) navigation par « carte en réseau », (3) navigation par « liste alphabétique » (cf. Figure 3).

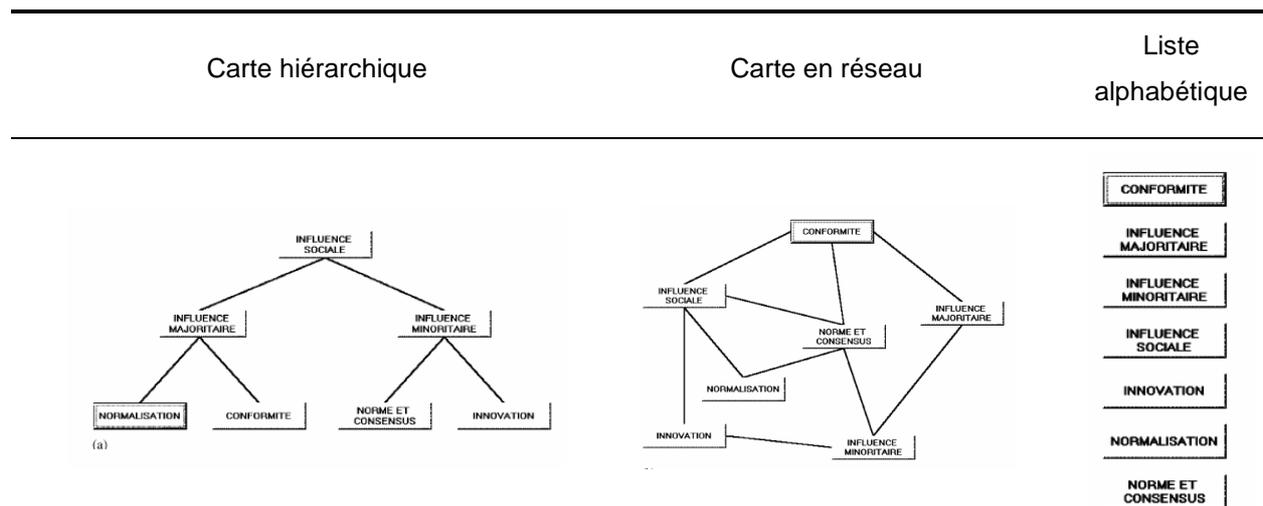


Figure 3: Outils de navigation utilisés dans l'expérience de Potelle et Rouet (2003)

Concernant les apprenants disposant de connaissances préalables, il n'apparaît pas de différence de performance selon l'outil de navigation utilisé. Les auteurs observent que la présence d'une carte hiérarchique lors de l'apprentissage permet de meilleurs scores aux questions relatives à la macrostructure pour les apprenants ayant peu de connaissances préalables dans le domaine, augmente le nombre de concepts rappelés dans le résumé produit suite à l'épisode d'apprentissage et améliore leur représentation du contenu évaluée lors d'une épreuve de dessin de la carte conceptuelle du document. De plus, la présence de la carte hiérarchique a un impact sur l'ordre de sélection des thèmes lors de la consultation du document, les apprenants ayant peu de connaissances suivant l'ordre de la carte hiérarchique de haut en bas et de gauche à droite. De même, de Jong et van der Hulst (2002) observent qu'une carte hiérarchique favoriserait la construction d'une représentation organisée de la macrostructure de l'hypertexte par les apprenants ayant peu de connaissances préalables dans le domaine, et les aiderait ainsi à développer une bonne représentation du domaine d'apprentissage. Cependant, cette amélioration de la compréhension ne s'observe qu'à un niveau global, et au détriment de la compréhension locale des informations. Hofman et van Oostendorp (1999) observent ainsi de meilleures performances de compréhension aux questions portant sur la macrostructure du document lors de l'utilisation d'une carte conceptuelle comparée à l'utilisation d'une simple liste des noeuds, au détriment des performances de compréhension relatives à la microstructure du document.

Concernant les comportements de navigation, les différents outils de navigation influencent le mode de consultation des informations. Dee-Lucas et Larkin (1995) comparent ainsi l'apprentissage d'un document hypermédia dans lequel les apprenants peuvent naviguer

soit par une liste de contenus, soit par une carte hiérarchique. Les apprenants, qui n'ont pas ou peu de connaissances préalables concernant le domaine d'apprentissage, reçoivent pour consigne de lire le document en vue de se préparer à un test de connaissances, et de procéder en consultant dans un premier temps le document dans l'ordre établi, *i. e.* le nœud à sélectionner par la suite est signalé à la fin de chaque page, puis revoir un ou plusieurs nœuds selon leurs besoins estimés. Les comportements de navigation montrent que deux fois plus d'apprenants en condition de carte utilisent des comportements de révision par rapport aux apprenants en condition de liste. Lors de la révision, les apprenants en condition de liste utilisent plus longtemps l'outil de navigation par rapport aux autres apprenants, sans pour autant revoir plus de nœuds. Les auteurs interprètent ces comportements comme une facilité d'usage plus importante de la carte hiérarchique, celle-ci permettant de repérer plus facilement les nœuds à consulter. Ainsi, dans une épreuve de rappel des titres des nœuds et de leur localisation, les apprenants en condition de carte obtiennent-ils de meilleures performances. Ces derniers acquièrent donc une meilleure représentation de la structure du texte. Dans leur expérience, Puntambekar, Stylianou et Hübscher (2003) observent que les apprenants qui utilisent un document hypermédia afin de répondre à des questions données ont un parcours de navigation comprenant plus de transition cohérentes entre les nœuds par rapport à la question posée lorsqu'ils utilisent une « carte des concepts » pour naviguer plutôt qu'un « index des contenus ». Les apprenants ayant utilisé un index consultent plus de nœuds pour répondre, indiquant qu'ils n'ont pas une navigation centrée sur les nœuds pertinents de l'environnement mais explorent le domaine général. A l'épreuve de dessin du domaine d'apprentissage, les apprenants en condition de carte produisent une carte plus riche, contenant plus de concepts corrects et de connections pertinentes entre ces concepts.

Du point de vue de la conception des documents hypermédiés, les connaissances antérieures de l'apprenant dans le domaine semblent être un facteur important à considérer dans l'efficacité d'un outil de navigation, à la fois en termes de performance d'apprentissage et en termes de comportements de navigation pertinents.

- ***Niveau de connaissances préalables dans le domaine et risque de désorientation***

Un problème de désorientation survient lorsque l'apprenant ne sait pas où il se trouve dans le réseau d'informations, quel nœud consulter par la suite ou comment accéder à ce nœud (Conklin, 1987 ; Dias, Gomes & Correia, 1999). Foss (1989) distingue les problèmes de

désorientation selon trois catégories : (1) les problèmes liés à la demande cognitive impliquée par la navigation, *e. g.* les apprenants réalisant de nombreuses digressions ; (2) les problèmes liés à un traitement superficiel des informations contenues dans les nœuds, qui résulte en une difficulté à comprendre les relations sémantiques entre les nœuds ; (3) les problèmes liés à un manque d'expérience concernant la structure non-linéaire des documents hypermédias , ce qui se traduit par des décisions inefficaces concernant le parcours à suivre pour atteindre un nœud donné. Gall et Hannafin (1994) associent ce phénomène de désorientation à la fois à un manque de connaissances préalables dans le domaine et à un manque d'expérience concernant la consultation d'informations organisée de façon non-linéaire.

McDonald et Stevenson (1998a) observent ainsi que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures montrent plus de problèmes de navigation en comparaison à ceux disposant de connaissances dans le domaine. Leur nombre total de consultation des noeuds d'informations est significativement supérieur à celui des apprenants ayant des connaissances, alors qu'ils consultent moins de noeuds d'informations différents que ceux-ci. Ces résultats amène les auteurs à conclure que les participants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures dans le domaine sont perdus dans l'espace hypertexte (*lost in hyperspace*), consultant plusieurs fois certains mêmes noeuds d'informations et en sautant d'autres dans leur parcours de navigation. Last, O'Donnell et Kelly (2001) font un constat semblable. Dans leur expérience, ils proposent aux participants de consulter un document hypertexte portant sur les tests et mesures, durant un cours de psychologie de l'éducation. Les apprenants sont contrastés en deux groupes selon qu'ils aient déjà eu un enseignement sur le thème ou non. Ils réalisent soit une tâche de recherches d'informations afin de répondre à un questionnaire, soit ils consultent le document dans le seul but d'en comprendre le contenu. Concernant la tâche de recherches d'informations, il est observé que les participants ayant des connaissances préalables dans le domaine emploient une stratégie plus élaborée que les participants n'en ayant pas ou peu. Ces premiers consultent les noeuds d'informations qui leurs sont familiers et relatifs aux thèmes de la question, tandis que les participants ayant moins de connaissances antérieures ont une stratégie plus exhaustive, consultant tous les noeuds d'informations jusqu'à trouver la réponse à la question. De façon générale, qu'il ait été demandé aux participants d'utiliser le document pour répondre à des questions ou seulement de comprendre son contenu, l'analyse qualitative des parcours de navigation des apprenants ayant des connaissances préalables indique qu'ils naviguent plus facilement dans le document, se souvenant des noeuds d'informations déjà consultés, et n'éprouvent pas de difficulté à décider du chemin de navigation à effectuer pour atteindre un noeud déterminé. Ils expriment alors

une attitude plus positive que celle exprimée par les participants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables quant à l'utilisation de ce type de document hypertexte.

Amadiou, Tricot et Mariné (2009) comparent l'utilisation de deux cartes conceptuelles, hiérarchique ou en réseau, selon le niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine. Tandis que les performances de rappel des apprenants ayant des connaissances préalables ne se distinguent pas selon l'outil de navigation, il apparaît que les apprenants n'en disposant pas ou de peu obtiennent de meilleures performances en condition « carte hiérarchique ». Concernant l'ordre de lecture, le niveau de connaissances préalables prédit le niveau de cohérence du séquençage choisi. Tous les apprenants adoptent un parcours de consultation plus cohérent lors de l'utilisation d'une carte hiérarchique, et les apprenants ayant des connaissances préalables ont un séquençage plus cohérent que les apprenants n'en disposant pas / peu en condition de navigation par « carte en réseau ». De façon générale, l'utilisation d'une carte en réseau amène à une plus grande désorientation perçue des apprenants, mais avoir des connaissances préalables dans le domaine réduit cette désorientation perçue.

L'analyse d'une situation d'apprentissage hypermédia demande de prendre en compte non seulement la structure des nœuds d'informations et les outils mis à disposition pour naviguer entre ces nœuds, mais aussi leur interaction avec le niveau de connaissances préalables de l'apprenant dans le domaine. Ainsi, les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances antérieures dans le domaine ont besoin d'un soutien à la navigation, pouvant prendre la forme d'une carte hiérarchique. Cet outil de navigation semble permettre à ces apprenants de compenser leur manque de connaissances dans le domaine en leur révélant la structure du document et par là même, la structure conceptuelle du domaine, *i. e.* les concepts centraux du domaine et les relations qui les unissent. Le fait que ces apprenants n'aient pas de représentation mentale cohérente du domaine est ici compensé par la structure hiérarchique du document ou de l'outil de navigation. En l'absence de soutien à la navigation, ils peuvent rencontrer des problèmes de désorientation. Toutefois, la littérature ne montre un effet positif de cette structure hiérarchique qu'à un niveau de compréhension global du texte, ce qui revoie aux relations entre les nœuds conceptuels, et non à un niveau local, *i. e.* au niveau de chaque nœud d'informations. Concernant les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine, ceux-ci présentent moins de problèmes de navigation car ils semblent aptes à appliquer leur structure interne de connaissances, cohérente et hiérarchique, sur la structure de contenu du document hypermédia.

1.3.b Niveau de connaissances / d'expérience préalable en informatique

Puisqu'un apprentissage hypermédia implique une activité d'utilisation de l'environnement, grâce notamment aux fonctions de navigation présentes dans l'interface, le niveau de connaissances / expériences antérieures dans le domaine informatique apparaît comme une caractéristique essentielle de l'apprenant à considérer.

Les études portant sur les effets des connaissances antérieures de l'apprenant en informatique, spécifiquement des connaissances / expériences antérieures dans l'utilisation des documents hypermédiés lors d'un apprentissage, échouent à mettre en évidence un lien entre niveau d'expérience informatique et performances d'apprentissage. Elles concluent cependant à ses effets sur la perception du système hypermédia par les apprenants et sur leurs comportements de navigation.

Ainsi, Mitchell, Chen et Macredie (2005) observent que les apprenants utilisant régulièrement le Web, qui sont donc habitués à exploiter le caractère non linéaire du Web et à utiliser les outils de navigation à disposition, ont une perception plus positive du caractère non-linéaire des documents hypermédiés. Ils exploitent plus le caractère flexible de l'environnement hypermédia, à l'inverse des apprenants utilisant moins le Web. Ces derniers font preuve de réticence à utiliser les outils de navigation dans le document servant de support à l'apprentissage et évoquent des problèmes de désorientation.

Selon leur niveau de connaissances / d'expériences en informatique, les apprenants exploitent de façon différenciée le caractère flexible des hypermédiés. Concrètement, les apprenants disposant de connaissances / d'expériences ont tendance à adopter des stratégies de consultation non-linéaires, tandis que les apprenants n'en ayant pas ou peu ont des parcours linéaires. Dans leur étude, Kraus, Reed et Fitzgerald (2001) remarquent qu'un haut niveau d'expérience antérieure des hypermédiés entraîne un temps d'utilisation de l'environnement d'apprentissage plus long. Pour les auteurs, cette observation serait liée au fait qu'un apprenant expérimenté dans le domaine des hypermédiés ait une meilleure compréhension de la structure du système et serait par conséquent plus à même d'emprunter un parcours non-linéaire en utilisant les liens hypertextes à disposition dans le document. Plus un apprenant disposerait d'expérience dans l'utilisation de documents hypermédiés, plus il profiterait de la possibilité d'interagir avec le document et d'exploiter son caractère non-linéaire. Pour Reed et Giessler (1995), le niveau d'expérience des systèmes hypermédiés, des bases de données et

des logiciels de traitement de texte est corrélé positivement au pourcentage d'étapes non-linéaires dans les parcours de navigation. Reed, Oughton, Ayersman, Ervin et Giessler (2000) retrouvent dans leurs analyses cette même corrélation entre niveau d'expérience hypermédia et parcours non-linéaires ; cependant ils observent une corrélation négative entre niveau d'expérience hypermédia et temps de réalisation de la tâche.

Non seulement le niveau de connaissances / d'expériences dans le domaine informatique mais aussi la représentation que les apprenants ont de leurs compétences dans ce domaine sembleraient avoir un impact sur l'activité d'utilisation de l'environnement hypermédia. Su et Klein (2006) évaluent, au préalable de l'épisode d'apprentissage hypermédia, le niveau de confiance des apprenants en leurs compétences dans le domaine informatique. Les résultats montrent que ceux ayant un haut niveau de confiance ont de meilleures performances au post-test. Toutefois, il est à noter que dans cette expérience, les apprenants qui ont le plus confiance en leurs compétences en informatique sont aussi ceux qui ont le plus de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage, à savoir « Internet ». Il n'est donc pas ici possible de discerner l'effet des connaissances antérieures dans le domaine, ce qui revient au niveau d'expérience préalable d'Internet, et l'effet de la perception qu'ont les apprenants de leurs compétences dans le domaine informatique.

L'ensemble des résultats de ces recherches tendent à montrer que les apprenants qui disposent d'un important niveau d'expérience des systèmes hypermédiés ont de façon générale une meilleure compréhension du fonctionnement d'un document hypermédia et utilisent leurs expériences passées pour guider leur navigation. Ils adoptent par conséquent une stratégie de navigation non-linéaire. Cependant, il est à supposer que la perception qu'ont les apprenants de leur niveau d'expériences / connaissances pourrait modifier l'effet du niveau réel sur les comportements de navigation.

1.3.c Niveau de dépendance à l'égard du champ

Les styles cognitifs renvoient à l'approche habituelle adoptée par un individu pour organiser et représenter un ensemble d'informations. Aussi, sont-ils particulièrement liés à la façon dont un individu acquiert et traite l'information. La dépendance au champ est l'un des styles cognitifs les plus étudiés concernant l'utilisation de documents hypermédiés (cf. Scheiter & Gerjets, 2007), et décrit le degré auquel la perception ou la compréhension des informations est affectée par le champ perceptuel ou contextuel environnant (Chen, S., 2002).

Selon leur niveau de dépendance / indépendance à l'égard du champ, les apprenants montrent des différences de préférences quant à leur parcours dans un environnement hypermédia. Reed et Oughton (1997) observent que les individus dépendants au champ réalisent un plus grand nombre d'étapes linéaires par rapport aux apprenants indépendants. De même, Liu et Reed (1995) observent que les apprenants indépendants au champ ont tendance à sauter d'un nœud d'informations à l'autre librement en utilisant l'outil de navigation « index », tandis que les apprenants dépendants au champ ont tendance à consulter les nœuds dans l'ordre donné, et à éprouver des problèmes de désorientation en cas contraire. Selon Ford et Chen (2000), les apprenants dépendants au champ ont tendance à utiliser l'outil de navigation le plus structuré, *i. e.* la carte des concepts, et consultent pendant une plus grande partie de leur temps les niveaux les plus généraux du domaine d'apprentissage. A l'inverse, les apprenants indépendants ont tendance à utiliser l'index des mots-clefs et à consulter pendant la majeure partie de leur consultation les niveaux les plus profonds, les plus détaillés du domaine d'apprentissage. Cependant, il n'apparaît pas d'effet du niveau de dépendance sur les performances d'apprentissage, ici évaluées par un QCM.

Il existe donc un risque pour les apprenants dépendants au champ d'être « perdus dans l'hyper-espace ». Certaines études rapportent un sentiment de désorientation chez les apprenants dépendants au champ. Wang, Hawk et Tenopir (2000), dans une tâche de recherche d'informations, montrent que les utilisateurs dépendants au champ éprouvent plus de difficultés à naviguer dans un environnement hypertexte et ressentent plus de confusion que les apprenants indépendants au champ. Ainsi, ils ouvrent plus de pages pour trouver l'information recherchée et par conséquent, ont un temps de recherche significativement plus important. Pamquist et Kim (2000) obtiennent des résultats comparables : le niveau de dépendance au champ apparaît comme une des caractéristiques individuelles ayant un poids certain sur l'efficacité de la recherche d'information, les apprenants dépendants au champ mettant plus de temps pour rechercher une information.

Le niveau de dépendance au champ influence l'activité d'utilisation de l'environnement hypermédia. Les apprenants dépendants au champ préfèrent utiliser des outils de navigation structuré pour les guider dans leur consultation ; à l'inverse, les apprenants indépendants au champ font le choix d'une navigation non-linéaire, utilisant des outils peu structurant tel qu'un index des mots-clefs et explorent plus longtemps les niveaux les plus profonds de la structure du document hypermédia.

2 Hypothèses

Un apprentissage hypermédia demande de l'apprenant qu'il exerce un contrôle sur son épisode d'apprentissage, concernant notamment les nœuds d'informations à consulter et leur ordre de consultation. Cependant, tous les apprenants ne tirent avantage de la liberté de consultation offerte par les environnements hypermédiés. Des différences interindividuelles, telles que le niveau de connaissances préalables dans le domaine, le niveau d'expérience dans le domaine informatique et le style cognitif de l'apprenant, déterminent comment les apprenants acquièrent l'information dans un environnement hypermédia, et, par conséquent peuvent influencer l'efficacité de leur apprentissage. Ces caractéristiques individuelles représentent par conséquent des facteurs importants à considérer lors du développement d'un environnement d'apprentissage hypermédia que l'on souhaiterait s'adapter à l'ensemble des apprenants.

Cette étude a donc un objectif descriptif. Il s'agit, dans un premier temps de catégoriser les comportements de navigation observés lors de la consultation des apprenants, puis de déterminer l'impact de chacune des caractéristiques mentionnées ci-dessus sur les comportements de navigation lors de l'épisode d'apprentissage, et l'impact de ces comportements de navigation, ainsi que des connaissances préalables dans le domaine, sur les performances d'apprentissage. Donc, ces différences interindividuelles habituellement étudiées isolément, sont ici considérées ensemble, et en interaction avec les comportements de navigation et les performances d'apprentissage. Pour ce faire, une analyse en modèle structural est utilisée.

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Quatre-vingt quatre étudiants, 6 garçons et 78 filles, en deuxième année de psychologie à l'Université Rennes II, participent à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 20,1 ans ($SD = 1.3$). Dans le cadre des TD de psychologie cognitive, les étudiants de Licence 2 ont possibilité de découvrir le fonctionnement des laboratoires de recherches en participant à une expérience ; leur participation est donc considérée comme faite sur la base du volontariat.

3.2 Matériel expérimental

Afin d'obtenir une hétérogénéité des apprenants quant à leur niveau de connaissances préalables dans le domaine, l'apprentissage porte sur la perception des couleurs, thème abordé au cours de la première année universitaire dans le cursus de Psychologie. L'environnement hypermédia servant de support d'apprentissage est construit grâce au logiciel Articulate Presenter. Il est composé d'une première page de consigne et de 22 nœuds d'informations consultables les uns indépendamment des autres. Les informations contenues dans chaque nœud occupent une seule page, il est inutile d'utiliser une barre de défilement pour toutes les consulter. Le document consiste en un diaporama comprenant des informations données à l'oral et des informations écrites synthétisant ces informations orales, des illustrations et des graphiques. Parmi les 22 nœuds d'informations, 15 contiennent des illustrations et / ou graphiques. Pour consulter ces informations, l'apprenant a à sa disposition un sommaire reprenant le titre de chacun des nœuds qui lui permet d'accéder librement aux différents nœuds d'informations, ainsi que des fonctions de contrôle de l'environnement, telles que « pause », « retour » au nœud d'informations précédent ou « avancer » jusqu'au suivant (cf. Figure 4). Dans le sommaire, le titre de la page actuellement consultée est mis en saillance par un changement de couleur du signet. Le temps total du document, correspondant au temps de narration, est de 18'08''.

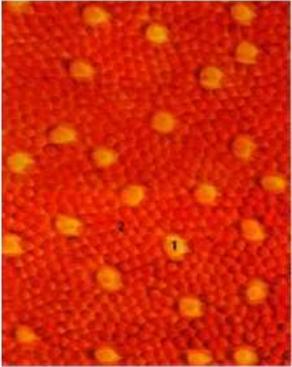
diapo 1

Sommaire

- Consigne
- La lumière
- Les couleurs
 - Couleurs spectrales: Définition
 - Couleurs spectrales: Définition
 - Application au phénomène d'arc en ciel
 - La synthèse additive
 - La synthèse soustractive
 - Couleurs par absorption: Définition
 - Exemple
- Anatomie de l'œil
- La rétine**
- Théories de la perception des couleurs
 - Théorie trichromatique
 - Application: la télévision
 - Théorie des couleurs complémentaires
 - Théorie mixte
- Anomalies de la perception des couleurs
 - Exemples d'anomalies
 - Vision d'un individu dichromate
 - Particularités des cécités à la couleur
 - Test d'Ishihara
 - Différence culturelle de la perception

La rétine

- Analyse et intègre de nombreux signaux lumineux interprétés par le cerveau.
- Contient environ 127 millions de photorécepteurs
- 2 types de photorécepteurs:
 - cônes: fonctionnent en lumière diurne et assurent la vision colorée = système de vision photopique.
 - bâtonnets: fonctionnement en faible éclairage et ne permettent qu'une vision en nuances de gris = système de vision scotopique.
- Plus forte densité de cônes au niveau de la fovéa donc est la zone de vision des détails. Restant de la rétine = vision périphérique.



Fragment de surface rétinienne. 1. Bâtonnet, 2. Cône (fausses couleurs)

articul@te
POWERED PRESENTATION

page 12 sur 23 pause 00:00 / 01:14

Figure 4: Copie d'écran d'une page de l'environnement hypermédia créé

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage

Le niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage est évalué par 6 questions ouvertes concernant le fonctionnement de la vision et la perception des couleurs, et d'un schéma de l'œil à compléter (cf. Annexe 1). A chaque bonne réponse et légende correcte, l'apprenant se voit attribuer 1 point. En cas d'erreur ou de non réponse, l'apprenant ne se voit pas attribuer de point.

3.3.b Niveau de dépendance / indépendance à l'égard du champ

La première partie de l'épreuve du « Group Embedded Figure Test » (Witkin & Goodenough, 1981) est informatisée grâce au logiciel Sphinx. L'épreuve consiste à détecter une figure simple, parmi cinq proposées, dans une figure complexe (cf. Figure 5).

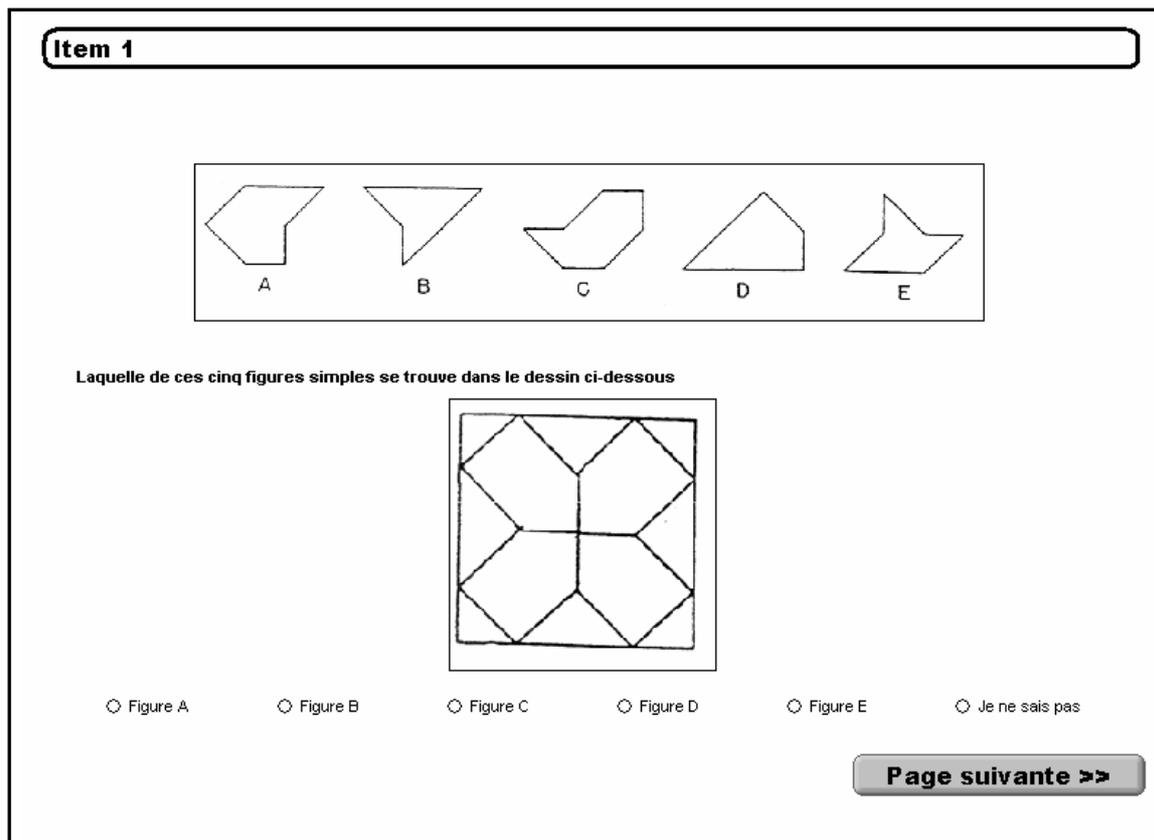


Figure 5: Copie d'écran du premier item de l'épreuve informatisée de dépendance au champ

La consigne est de compléter le maximum d'items parmi les 16 contenus dans l'épreuve en un temps maximum de 12 minutes. Au-delà de ce temps, le logiciel ferme l'application. Le participant a possibilité de passer un item en cochant la réponse « Je ne sais pas ». Un score de dépendance à l'égard du champ est obtenu en codant une bonne réponse par 1 point, une absence de réponse par 0 point et une mauvaise réponse par -1 point.

3.3.c Niveau d'anxiété informatique et niveau de connaissances réelles en informatique

Un questionnaire d'anxiété informatique est administré en début de passation de façon exploratoire. D'après une brève revue de la littérature, il est apparu que les questionnaires utilisés sont basés sur environ sept facteurs. Un premier questionnaire est donc pré-testé, reprenant ces sept facteurs d'anxiété informatique sur une population de 120 étudiants à l'Université de Rennes II, 24 garçons et 96 filles issus de filières et de niveaux d'étude différents (concernant les étapes de la construction de ce questionnaire, cf. Annexe 2, Annexe 3 et Annexe 4). Après analyse factorielle, uniquement trois facteurs sont conservés : un facteur de « technophilie », comprenant 7 items ($\alpha = .775$), un facteur de « technophobie »,

comprenant 13 items ($\alpha = .898$) et un facteur de « compétences informatiques perçues » comprenant 6 items ($\alpha = .887$).

Tableau 1: Exemples d'items issus du questionnaire d'anxiété informatique

Technophilie	<i>En général, j'apprécie de pouvoir utiliser un ordinateur (anticipation positive). Les ordinateurs sont de plus en plus nécessaires dans le domaine de l'éducation, et j'estime que cela est une bonne chose (croyance positive)</i>
Technophobie	<i>Lorsque j'utilise ou suis sur le point d'utiliser un ordinateur, je suis inquiet / inquiète (affect négatif) J'hésite à utiliser un ordinateur de peur de faire une erreur que je ne saurais corriger (peur)</i>
Compétences perçues	<i>Lorsque j'utilise ou suis sur le point d'utiliser un ordinateur, je suis sûr / sûre de moi Je me sens compétent(e) dans l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication.</i>

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation et la liste des items est précédée de la phrase suivante : « Imaginez vous sur le point d'utiliser ou en pleine utilisation d'un ordinateur. ». Les participants doivent se positionner envers chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, de 1 « Pas du tout d'accord » à 20 « Tout à fait d'accord ».

Concernant les connaissances réelles en informatique, celles-ci sont évaluées par une épreuve dans laquelle les apprenants doivent classer 17 noms d'applications dans le domaine informatique qui convient parmi les 9 proposés (cf. Annexe 5). Un point est accordé pour chaque bonne réponse ; aucun point n'est attribué en cas d'erreur ou d'absence de réponse.

3.3.d Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Ce questionnaire subjectif, visant à évaluer le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, comprend deux facteurs : un facteur de contrôle perçu et un facteur de charge cognitive perçue (cf. Annexe 6).

- Les 3 items de *contrôle perçu* renvoient à la définition donnée par Calisir et Gurel (2003) : « le contrôle perçu renvoie à la perception du sujet de la possibilité qu'il a de décider par lui-même comment naviguer à travers le document » (notre traduction, p. 139). Chaque item renvoie ainsi à l'un des trois types de contrôle impliqués par l'utilisation de tout

environnement hypermédia, à savoir le contrôle du séquençage, le contrôle du rythme du document et le contrôle du contenu.

- Les 3 items de *charge cognitive perçue* renvoient à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant pense avoir fourni pour comprendre l'information et du degré de difficulté ressenti par l'apprenant lors de la manipulation de l'environnement.

Tableau 2: Exemples d'items issus du questionnaire subjectif de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Contrôle perçu	<i>J'ai le sentiment de pouvoir adapter le rythme du document à mon rythme de travail</i>
Charge cognitive perçue	<i>Comprendre les informations délivrées dans ce document m'a demandé des efforts</i>

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation positive. L'apprenant doit se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « Pas du tout d'accord » correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « Tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20. Les valeurs des Alpha de Cronbach sont de $\alpha = .868$ pour le contrôle perçu et $\alpha = .719$ pour la charge cognitive perçue.

3.3.e Performances d'apprentissage

Le questionnaire de connaissances administré en fin de passation comprend au total 14 questions de type « question ouverte » (cf. Annexe 7).

Les apprenants répondent à 7 questions de type « paraphrase » qui permettent d'évaluer leurs performances d'apprentissage en termes de rappel des informations. La réponse à ces questions est explicite dans le document. Par exemple, à la question « *Quelles sont les couleurs mises en œuvres dans les synthèses soustractives ?* », la réponse à cette question est en tout mot dans le document hypermédia : « *les synthèses soustractives mettent en œuvre le mélange de couleurs cyan, magenta et jaune* ». Les apprenants répondent aussi à 7 questions de type « inférence ». Ces questions visent à évaluer la qualité du modèle mental élaboré par l'apprenant, ce qui renvoie à leur compréhension des informations. Répondre à ces questions nécessite de la part de l'apprenant de mettre en relation au moins deux informations contenues dans le document, dans un même nœud d'informations ou dans au moins deux nœuds

d'informations différents. Ainsi, concernant la question « *Pourquoi les individus achromates sont-ils atteints de photophobie (éblouissement en situation d'éclairage diurne) ?* », les apprenants doivent mettre en lien la définition de l'achromatopsie (page intitulée « *Exemples d'anomalie* ») et l'explication du rôle de chaque photorécepteur, cônes et bâtonnets (page intitulée « *La rétine* »).

Le questionnaire est corrigé en aveugle par un seul correcteur. Chaque question est notée sur 1 point. Aucun point n'est accordé pour une réponse manquante, incomplète ou erronée.

3.3.f Indices de navigation

Le temps de consultation est enregistré, depuis le passage de la page de consigne à la première page d'informations jusqu'à la fermeture du document hypermédia.

Toute activité des apprenants à l'écran est enregistrée pendant la consultation du document grâce au logiciel CamStudio. Sur la base de ces enregistrements, sont comptabilisées les occurrences d'utilisation de chaque fonction de contrôle. Sur la base de leur utilisation des fonctions, sont qualifiées a posteriori les stratégies de navigation mises en place par les apprenants.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle découpée en quatre box, chaque box étant équipé d'un écran 17 pouces, d'une souris et d'un casque audio. Dans un premier temps, les participants répondent à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à leur âge, leur genre, leur baccalauréat et leur cursus universitaire antérieur éventuel.

Une fois ces premières questions remplies, ils complètent le pré-questionnaire de connaissances dans le domaine de la perception visuelle, puis le questionnaire d'anxiété informatique et le questionnaire de compétences réelles en informatique. Enfin, les apprenants répondent au questionnaire informatisé de dépendance / indépendance au champ.

Suite à ces premiers questionnaires, commence la phase d'apprentissage à proprement parler. Lorsque les apprenants ouvrent l'environnement hypermédia, apparaît la première page de consigne. Celle-ci leur indique que leur consultation du document est sans contrainte de temps ou d'utilisation de l'environnement et qu'à la suite de leur consultation, ils devront répondre à un nouveau questionnaire de connaissances (cf. Figure 6).

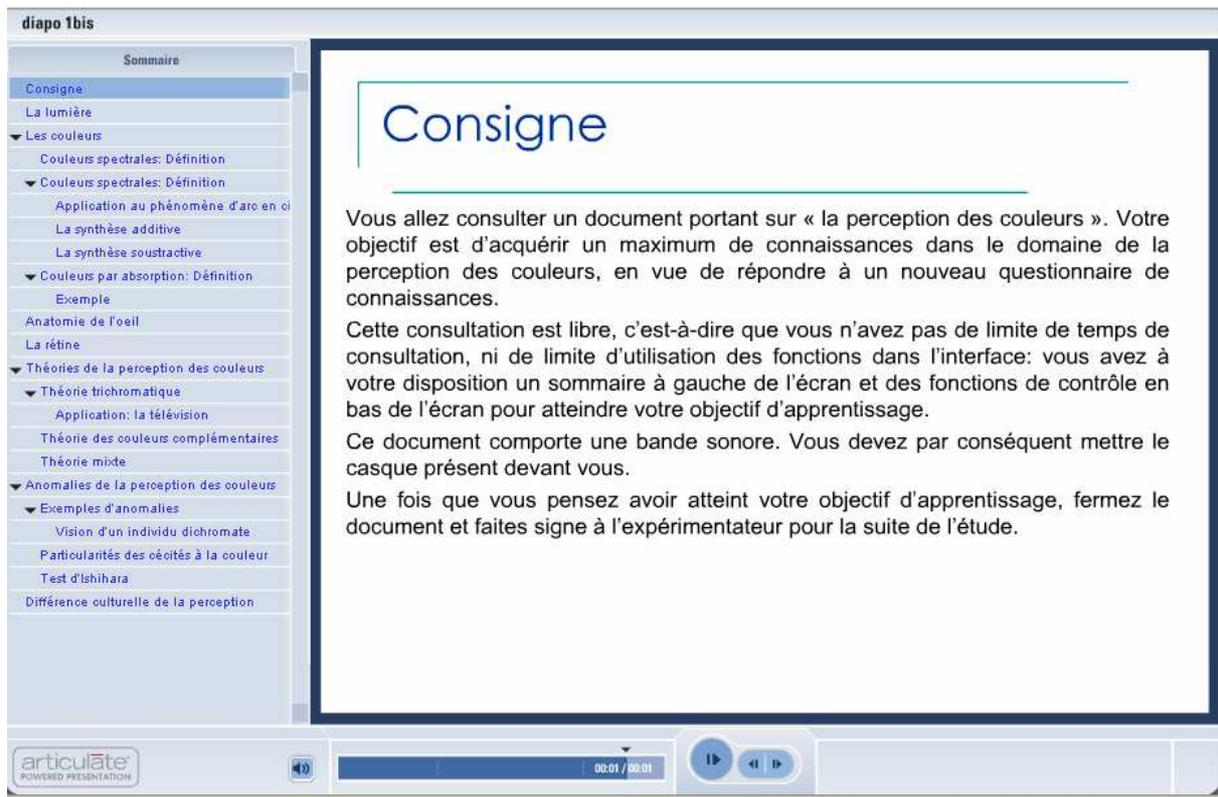


Figure 6 : Consigne pour l'apprentissage du document hypermédia

Une fois qu'ils estiment avoir terminé leur consultation, ils ferment seuls le document. Le questionnaire subjectif de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage leur est alors fourni. La passation se conclut sur le complètement du questionnaire de connaissances.

La durée moyenne de passation de l'expérience est d'environ 1h15 (à plus ou moins 10 minutes).

4 Résultats expérimentaux

4.1 Stratégies de consultation mises en œuvre par les apprenants

A partir de l'enregistrement des parcours de navigation des apprenants, quatre stratégies de consultation mises en œuvre par les apprenants sont distinguées a posteriori. La première d'entre elles est une stratégie de type « *linéaire* » (cf. Figure 7) et consiste pour l'apprenant à consulter les nœuds d'informations dans l'ordre proposé par le sommaire, sans utiliser d'autres formes de contrôle. Une fois le document consulté dans son ensemble, l'apprenant clôture son épisode d'apprentissage. Une seconde stratégie de type « *révision* » (cf. Figure 8) consiste à consulter les nœuds d'informations linéairement dans un premier temps, jusqu'à consultation complète du document, puis à utiliser les fonctions de navigation

dans un second temps pour consulter à nouveau certains nœuds (concerne 26.2% des participants). La troisième stratégie est dite « *active* » (cf. Figure 9) et consiste à utiliser les fonction de contrôle présentes dans le document jusqu'à avoir consulté toutes les diapositives au moins une fois. Les apprenants clôturent alors leur épisode d'apprentissage après avoir consulté la dernière diapositive, sans phase de révision. Enfin, la quatrième stratégie est qualifiée de « *combinée* » (cf. Figure 10) car les apprenants appliquent à la fois les principes de la stratégie « *active* » et de la stratégie de « *révision* ». Ils utilisent les fonctions de navigation présentes dans l'interface dès le premier visionnage, puis après avoir pris connaissance de la dernière page, ils consultent à nouveau un ou plusieurs nœuds d'informations, selon les besoins estimés. Concernant l'ensemble des apprenants, 27.4% ont utilisé une stratégie linéaire, 20.2% une stratégie active, 26.2% une stratégie de révision et 26.2% une stratégie combinée.

A noter que tous les apprenants ont consulté toutes les pages au moins une fois.

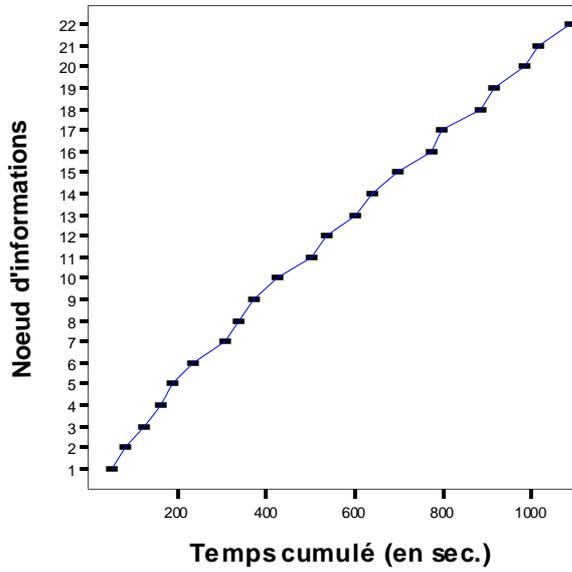


Figure 7: Représentation graphique d'une stratégie de consultation « linéaire » (participant 40)

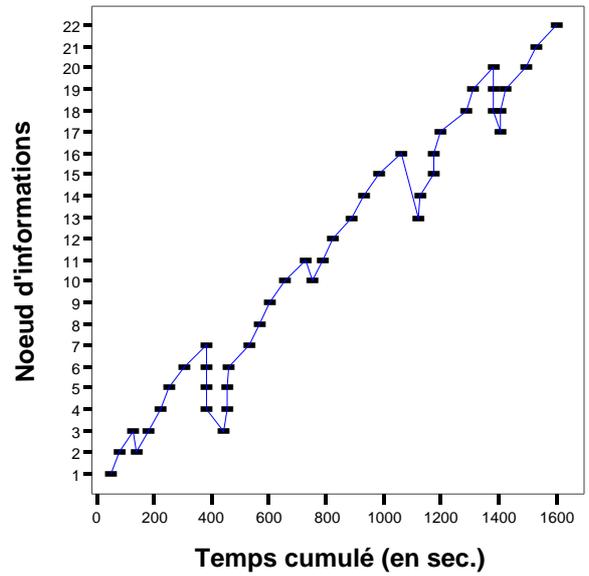


Figure 9: Représentation graphique d'une stratégie de consultation "active" (participant 66)

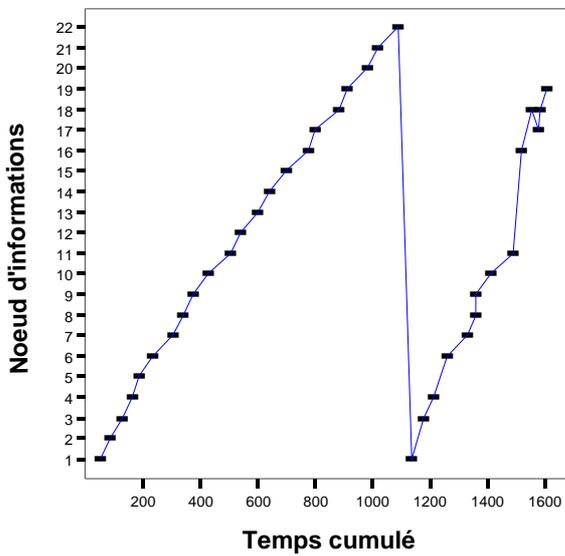


Figure 8: Représentation graphique d'une stratégie de consultation de "révision" (participant 10)

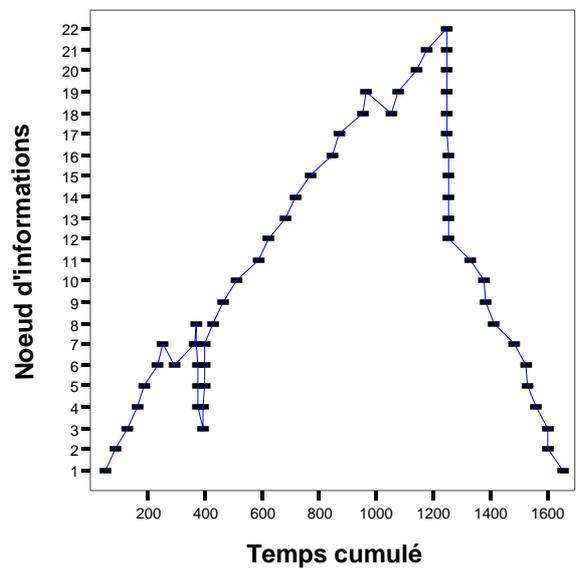


Figure 10: Représentation graphique d'une stratégie de consultation "combinée" (participant 4)

4.2 Analyse en modèle structural concernant les différences interindividuelles

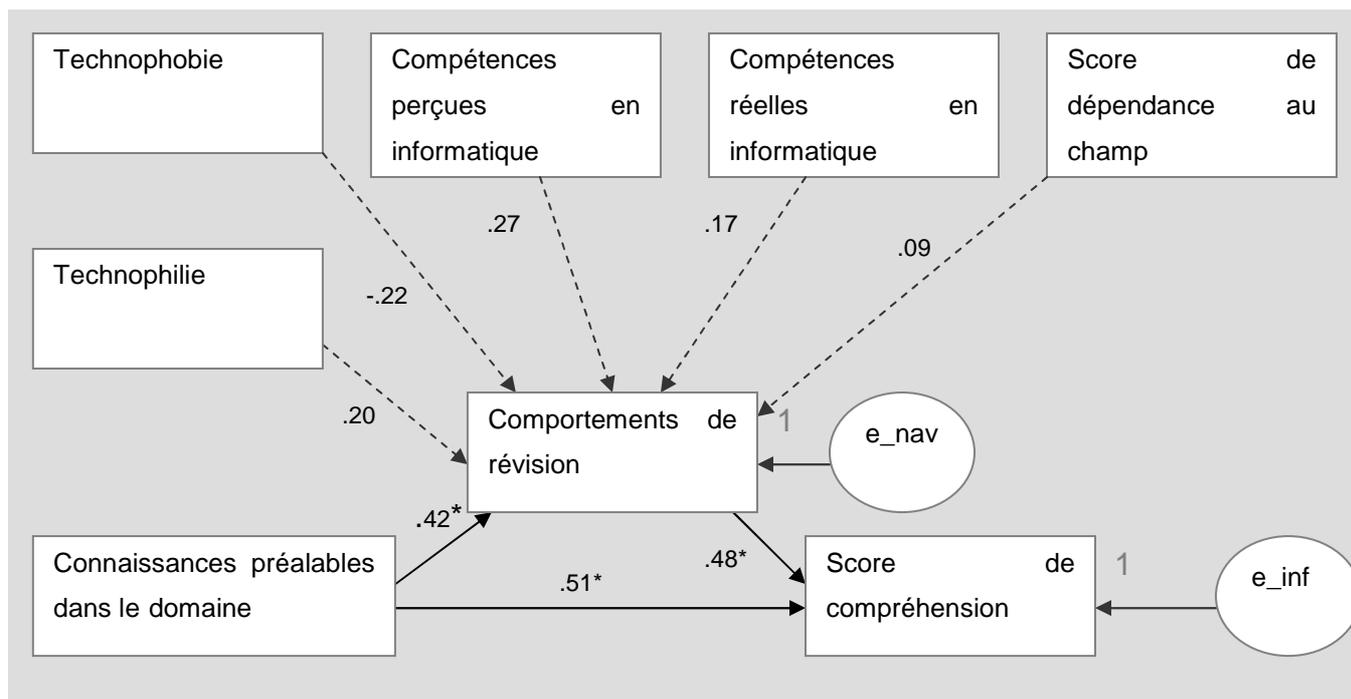
Des analyses en modèle structural sont réalisées grâce au logiciel Amos 5.0. Sur la base de l'analyse bibliographique réalisée, y sont insérées les variables « technophilie », « technophobie », « compétences perçues en informatique », « compétences réelles en informatique », « niveau de dépendance au champ » et « niveau de connaissances préalables dans le domaine » comme facteurs explicatifs des comportements de navigation (MOD1), des comportements de navigation lors d'une première consultation (MOD2) et des comportements de révision (MOD3). L'expression « comportements de navigation lors d'une première consultation » renvoie aux occurrences d'utilisation des fonctions de navigation jusqu'à consultation du document en son entier, tandis que le terme « comportements de révision » renvoie ici aux occurrences d'utilisation des fonctions une fois le document consulté dans son ensemble.

Dans chacun de ces trois modèles, sont incluses les variables « niveau de connaissances préalables dans le domaine », « temps de consultation », et « nombre moyen de comportements de navigation / 1^{ière} consultation / de révision » comme facteurs explicatifs des performances de compréhension.

Avant de procéder à l'analyse, il est vérifié qu'il n'existe pas de corrélation entre nos différents facteurs explicatifs et que les données relatives à chacun de ces facteurs suivent une loi normale.

Les analyses mettent en évidence qu'aucun de ces trois modèles n'est validé, pour MOD1 : $\chi^2 = 68.24$, $ddl = 20$, $p = NS$; pour MOD2 : $\chi^2 = 74.46$, $ddl = 20$, $p = NS$; pour MOD3 : $\chi^2 = 60.98$, $ddl = 20$, $p = NS$. Ainsi, concernant ces trois modèles, les indices *CFI* et *RMSEA* témoignent d'un mauvais ajustement des données aux modèles supposés (*CFI* < .5 et *RMSEA* > .1).

Cependant, dans le modèle MOD3, les relations entre « connaissances préalables » et « scores de compréhension », entre « connaissances préalables » et « comportements de révision », et entre « comportements de révision » et « scores de compréhension » sont significatives (cf. Figure 11).



Notes : $N = 84$; * $p \leq .03$

Figure 11: Analyse en modèle structural sous Amos 5.0, modèle MOD3

Lorsque l'option « spécifier le modèle » est utilisée, permettant de rendre optionnelles certaines relations, ici les relations non significatives dans MOD3 (représentées en pointillés sur le graphique), alors un modèle MOD3b est obtenu, qui renvoie à la relation triangulaire entre « connaissances préalables », « comportements de révision » et « score de compréhension ». Celui-ci est aussi non significatif ($\chi^2 = 51.52$, $ddl = 18$, $p = NS$) mais selon l'indice $Cmin / ddl$, il apporte une amélioration par rapport à MOD3 et selon l'indice BIC est le modèle le plus adapté ($BIC = 95.82$ pour MOD3B ; $BIC = 131.87$ pour MOD3).

Tableau 3: Comparaison des modèles structuraux MOD3 et MOD3b sous Amos 5.0

	NPar.	ddl	Cmin	BIC	Cmin / ddl	p
MOD3b	10	18	51.52	0.00	2.86	.035
MOD3	16	20	59.98	36.05	3.049	.00

Etant donné l'effet possible du facteur « connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage » sur les performances de compréhension, le parti est pris d'analyser les

données recueillies pendant la consultation et les données post-consultation selon un antagonisme « apprenants disposant de connaissances dans le domaine d'apprentissage » et « apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances dans le domaine ».

Sont donc considérés a posteriori comme « n'ayant pas ou peu de connaissances préalables » les apprenants ayant obtenu moins de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances, soit 54 participants, et sont considérés comme « ayant des connaissances préalables dans le domaine » les apprenants ayant obtenu 50% ou plus de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances, soit 30 participants.

4.3 Analyses des performances au post-questionnaire de connaissances

Le test d'homocédasticité des variances de Levene indique que les variances des scores au post-questionnaire de connaissances sont homogènes, $F < 1$ concernant le score aux questions de paraphrase et $F(1, 83) = 1.82, p = .68$ concernant le score aux questions d'inférence. Une analyse de variance multiple est donc réalisée.

Il est à observer que les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine ont un score de compréhension significativement supérieur à celui des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine : $F(1, 83) = 7.253, MSE = 2.28, p = .03$. Cependant, les apprenants contrastés sur leur niveau de connaissances préalables ne se différencient pas significativement quant à leurs performances aux questions de mémorisation : $F(1, 83) = 1.338, MSE = 1.27, p = NS$.

Tableau 4: Performances au post-questionnaire de connaissances selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine

Groupes	<i>N</i>	Paraphrase		Inférence	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables	54	4.64	1.16	2.55	1.43
Apprenants ayant des connaissances préalables	30	5.26	1.04	3.84	1.37

Note : Le score maximum est de 7 pour les questions de paraphrase et les questions d'inférence.

4.4 Analyses du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Avant toute analyse, la précaution est prise de vérifier que les variances des scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage sont homogènes, $F < 1$.

L'analyse de variance multiple fait apparaître que les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine ont un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage significativement meilleur, $F(1, 83) = 6.727$, $MSE = 7.03$, $p = .02$, et expriment une charge cognitive significativement moindre, $F(1, 83) = 6.749$, $MSE = 10.33$, $p = .01$, par rapport aux apprenants disposant de moins de connaissances préalables.

Tableau 5: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine

Groupes	<i>N</i>	Contrôle perçu		Charge cognitive perçue	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables	54	13.21	2.92	11.32	2.8
Apprenants ayant des connaissances préalables	30	14.89	2.28	8.93	2.73

Note : le score maximal est de 20 pour chaque facteur.

4.5 Analyses des stratégies de consultation

4.5.a Analyses qualitatives des parcours de navigation

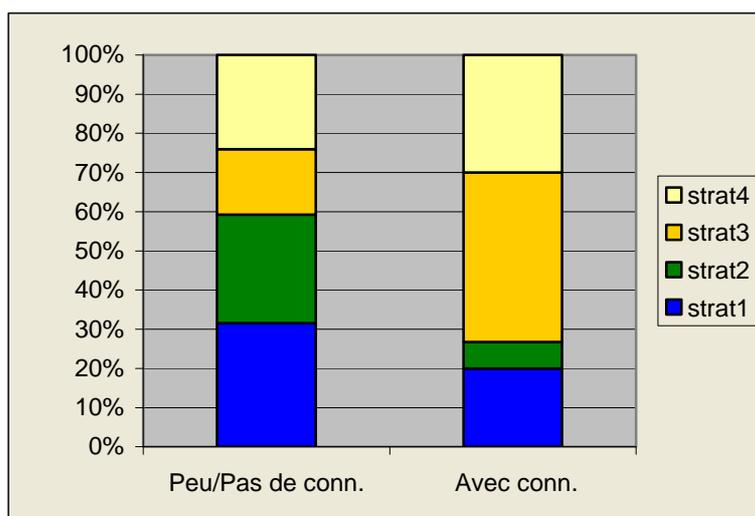
Les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine et ceux n'en disposant pas ou de peu ne se différencient pas significativement en termes de temps total de consultation (en secondes), respectivement $M = 1347.93$, $SD = 227.5$ et $M = 1448.57$, $SD = 278.92$; $F(1, 83) = 2.05$, $MSE = 67915.11$, $p = NS$.

Cependant, en calculant un score d'efficacité d'apprentissage (E) similaire à celui de l'étude de Gerjets, Scheiter, Opfermann, Hesse et Eysinck (2009), de formule :

$$E = (Z \text{ performance} - Z \text{ temps}) / \sqrt{2},$$

Il est observé que les apprenants ayant des connaissances préalables ont un score d'efficacité moyen de $E = 0.32$, tandis que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances ont un score moyen de $E = -0.27$. Ce score négatif indique que leur investissement en temps excède leurs performances globales d'apprentissage (mémorisation et compréhension) et donc leur stratégie de consultation est peu efficace : à temps d'apprentissage « équivalents », les apprenants ayant des connaissances préalables obtiennent de meilleures performances d'apprentissage comparés aux apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures dans le domaine.

Concernant les différentes stratégies de navigation déterminées a posteriori, il existe une différence significative de répartition des apprenants entre ces stratégies selon leur niveau de connaissances préalables dans le domaine (cf. Figure 12) : $\chi^2 = 10.671$, $ddl = 3$, $p = .014$.



Notes : strat1 = stratégie linéaire ; strat2 = stratégie active ; strat3 = stratégie de révision ; strat4 = stratégie combinée.

Figure 12: Répartition des apprenants dans les différentes stratégies déterminées selon leur niveau de connaissances préalables

Les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine utilisent majoritairement des stratégies de type « révision » puis « combinée », tandis que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures n'ont pas de choix de stratégie marqué.

4.5.b Analyses quantitatives des parcours de navigation

Une analyse de régression multiple est réalisée pour déterminer l'impact de l'utilisation des fonctions de navigation en première consultation et en phase de révision sur les performances de compréhension des apprenants.

Lorsque ceux-ci ne disposent pas ou de peu de connaissances dans le domaine, leur utilisation des fonctions de navigation lors de ces deux phases expliquent 51% des variations des scores de compréhension ($r^2 = .507$). Leurs performances aux questions d'inférence sont non seulement significativement liées à leur nombre de comportements de révision, $t = 1.301$, $p = .037$, mais sont aussi significativement liées à leur nombre d'utilisation des fonctions de navigation lors de leur première consultation des informations, $t = -1.577$, $p = .003$.

Tableau 6 : Analyse de régression multiple concernant les performances de compréhension des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables

	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>B</i>	β
<i>Score de compréhension</i>	.652	.497		
Nombre moyen d'utilisation des fonctions lors de la 1 ^{ière} consultation			-.237**	-.208
Nombre moyen d'utilisation des fonctions lors de la phase de révision			.118*	.145

Notes : *N* = 54 ; *r*² est ajusté ; **p* <.05, ***p* <.005

Donc, plus les apprenants disposant de peu / pas de connaissances préalables utilisent les fonctions de navigation de l'interface lors de la première consultation, moins leurs performances de compréhension sont bonnes ; à l'inverse, plus ils mettent en place de comportements de révision, meilleures sont leurs performances de compréhension.

Concernant les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine, leurs performances de compréhension ne sont pas significativement liées à leur utilisation des fonctions de contrôle lors d'une première consultation, $t = .158$, $p = \text{NS}$, mais uniquement liées à leur nombre de comportements de révision, $t = 4.728$, $p = .001$.

Tableau 7: Analyse de régression multiple concernant les performances de compréhension des apprenants disposant de connaissances préalables

	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>B</i>	β
<i>Score de compréhension</i>	.717	.476		
Nombre moyen d'utilisation des fonctions lors de la 1 ^{ière} consultation			.019	.024
Nombre moyen d'utilisation des fonctions lors de la phase de révision			.204**	.708

Notes : *N* = 30 ; *r*² est ajusté ; ***p* <.001

Le fait que les apprenants ayant des connaissances antérieures utilisent les fonctions de navigation dès les premiers instants de l'épisode d'apprentissage n'a pas d'incidence significative sur leurs performances de compréhension, et celles-ci s'en trouvent améliorées s'ils mettent en place des comportements de navigation.

5 Conclusion

Tirer avantage de la flexibilité d'apprentissage dans un environnement d'apprentissage dépend, entre autre, des caractéristiques individuelles de l'apprenant, telles que le niveau de connaissances antérieures dans le domaine ou le niveau d'expérience informatique. Celles-ci influencent le mode d'utilisation des fonctions de navigation présentes dans l'environnement d'apprentissage et pour certaines, influencent les performances d'apprentissage. Ainsi, le double objectif de cette étude était de déterminer le poids de ces différences interindividuelles sur les comportements de navigation lors d'un apprentissage hypermédia et déterminer l'impact de ces comportements de navigation sur les performances d'apprentissage.

Contrairement à ce qui était attendu, aucune des caractéristiques individuelles mesurées ne semble avoir d'impact sur les comportements de navigation, quels qu'ils soient, excepté le niveau de connaissances préalables dans le domaine. Il est vrai que dans la littérature, le niveau de connaissances / d'expérience dans le domaine informatique par exemple est mesuré par différents indicateurs : fréquence d'utilisation déclarée, connaissances évaluées par des questionnaires subjectifs ou des épreuves réelles. Comme mentionné dans certaines revues de questions (*e. g.* Scheiter & Gerjets, 2007), les résultats contradictoires observés dans le domaine des apprentissages hypermédiés sont notamment liés à des différences méthodologiques. L'absence d'effet de cette caractéristique individuelle sur les comportements de navigation peut ici s'expliquer par les mesures employées, sans doute non adaptées. En ce qui concerne les facteurs d'anxiété informatique, leur utilisation dans cette expérience était simplement exploratoire, aucune étude concernant les environnements hypermédiés d'apprentissage n'ayant considéré ce facteur auparavant.

Le niveau de connaissances préalables dans le domaine est donc une caractéristique individuelle qui apparaît comme ayant un impact direct sur les performances de compréhension, mais aussi un impact sur le nombre de comportements de révision mis en place lors de l'épisode d'apprentissage. Lorsque les données sont analysées sous l'angle d'une différenciation entre les apprenants selon leur niveau de connaissances antérieures dans le domaine, il est alors observé une divergence entre les deux catégories d'apprenants portant notamment sur les stratégies de consultation mises en place : les apprenants disposant de connaissances préalables utilisent majoritairement des stratégies de type « révision » et « combinée » ; les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables n'ont pas de choix de stratégie aussi marqué. Cependant, ces derniers utilisent minoritairement la stratégie

de consultation « révision ». Or, il apparaît que l'utilisation des fonctions de navigation en première consultation a un impact négatif sur les performances de compréhension de cette catégorie d'apprenants, et qu'au contraire, la mise en place de comportements de révision les aideraient à améliorer leurs scores. Alors que la stratégie de type « révision » serait la plus adaptée à leur niveau de connaissances préalables, stratégie caractérisée par une absence d'utilisation des fonctions jusqu'à consultation complète du document et par la mise en place de relectures de certains nœuds, cette stratégie est celle qu'ils mettent le moins en place. Aussi, est-il possible de dire que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables réalisent des choix de stratégies de consultation non-pertinents au regard de leurs performances de compréhension, au contraire des apprenants disposant de connaissances antérieures. Ce résultat réplique celui d'études antérieures soulignant la difficulté des apprenants à gérer le niveau de contrôle nécessaire à l'utilisation d'un environnement hypermédia (Amadiou, Tricot & Mariné, 2009 ; McDonald & Stevenson, 1998a). Par conséquent, cette différence de pertinence dans le choix de stratégie de consultation se traduit par une différence significative concernant les scores aux questions d'inférence : les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine obtiennent de meilleures performances de compréhension que les apprenants n'en ayant pas ou peu.

Le fait que les apprenants se différencient en termes de performances de compréhension selon leur niveau de connaissances préalables dans le domaine est un résultat « classiquement » observé dans les études concernant l'apprentissage de textes linéaires ou de documents multimédias : comprendre un texte renvoie au fait de construire un modèle de situation cohérent sur la base des informations du document et des connaissances antérieures de l'apprenant. L'intérêt porte ici sur le fait que la relation entre « niveau de connaissances préalables dans le domaine » et « performances de compréhension » est médiatisée par les comportements de navigation adoptés par les apprenants. Les apprenants ne disposant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine mettent en place des stratégies de consultation non pertinente au regard de leur niveau de connaissances préalables, ce qui entrave leur apprentissage des informations, *i. e.* leur construction d'un modèle de situation cohérent. Par conséquent, il est observé que leur investissement en temps d'apprentissage excède les performances obtenues aux questions d'inférence. Les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables expriment alors dans le questionnaire subjectif une charge cognitive perçue significativement plus importante et un contrôle perçu de l'épisode d'apprentissage significativement moindre par rapport aux apprenants disposant de connaissances antérieures dans le domaine.

Lors d'un épisode d'apprentissage hypermédia, les apprenants sont pourvus d'un contrôle sur le séquençage des nœuds d'informations et sur le contenu à consulter ou non. Ils sont par conséquent libres de décider de la stratégie de navigation à mettre en place afin d'atteindre leur objectif d'apprentissage. Etant donné que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine ne semblent pas aptes à prendre des décisions pertinentes pour atteindre leur objectif, il serait à envisager de les guider vers la mise en place de la stratégie de navigation la plus adaptée à leur niveau de connaissances préalables, à savoir une stratégie de type « révision », ce qui nécessiterait de limiter partiellement le contrôle qu'ils devraient exercer sur leur épisode d'apprentissage afin d'atteindre leur objectif d'apprentissage.

Expérience 2 : Effet de la contrainte temporaire du séquençage lors de l'apprentissage d'un document hypermédia selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine

Résumé :

Dans l'expérience 1, il apparaît que le niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage a un impact sur les performances de compréhension et sur le choix de la stratégie de navigation, les apprenants disposant de peu de connaissances antérieures adoptant des comportements de consultation qui entravent leur apprentissage. Il est alors supposé que de limiter le contrôle du séquençage lors d'une première consultation des informations permettraient aux apprenants disposant de moins de connaissances dans le domaine de pouvoir repérer la structure du domaine et de mettre en place des comportements de navigation plus pertinents. Le niveau de connaissances préalables dans le domaine et le niveau de contrôle de l'épisode sont manipulés. Il apparaît que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine ont de meilleures performances de compréhension lorsque le séquençage est contraint que lorsqu'il est libre. Ils repèrent mieux la structure du domaine et mettent en place plus de comportements de révision.

1 Introduction

Dans une situation d'apprentissage de « lecture-compréhension », l'apprenant a pour objectif principal de se créer une représentation mentale cohérente du contenu informationnel, *i. e.* un modèle de situation (cf. section Introduction générale). Goldman et Saul (1990) proposent un modèle de traitement du texte (*Strategy Competition Model*) qui établit que le lecteur progresse à travers un texte linéaire en essayant d'établir une cohérence à la fois à un niveau global, *i. e.* entre les paragraphes du texte, et à un niveau local, *i. e.* entre les phrases d'un même paragraphe. Il dispose donc de différentes stratégies afin d'établir de la cohérence aux niveaux local et global. Lorsque le lecteur détecte des incohérences ou des lacunes dans son modèle de situation, alors il sélectionne parmi les différentes stratégies dont il dispose celle qui pourrait permettre de remédier à ses difficultés.

Dans leurs expériences, les auteurs déterminent trois stratégies de lecture afin d'établir une cohérence globale : (1) une stratégie « linéaire » (*once through strategy*) qui consiste à lire les paragraphes d'un texte de façon séquentielle, et qui est utilisée lorsque, en fin de lecture, le lecteur évalue sa compréhension comme adéquate par rapport à son objectif ou lorsque aucune stratégie n'a permis d'assurer une cohérence locale au cours de la lecture ; (2) une stratégie de « révision » (*review strategy*) qui implique la lecture séquentielle des paragraphes avant de relire certains d'entre eux, et qui est utilisée par les lecteurs ayant évalué en fin de lecture que leur connaissance / compréhension des informations était insuffisante ; (3) une stratégie de « régression » (*regress strategy*) qui implique une relecture de paragraphes antérieurs avant d'atteindre la fin du texte, sur la base d'indices structurels et sémantiques du texte.

Selon la stratégie de lecture utilisée et selon le niveau de connaissances préalables de l'apprenant dans le domaine, la construction d'un modèle de situation cohérent peut s'avérer difficile. Dans le cas particulier d'une tâche de « lecture-compréhension » dans un document hypermédia, cette difficulté à comprendre le contenu informationnel peut s'accroître, selon la stratégie de consultation des nœuds d'informations mise en œuvre par l'apprenant et le niveau de contrôle de l'apprenant sur son épisode d'apprentissage.

1.1 Modèle de situation et représentation de la structure de l'hypertexte

Lors de la réalisation de la tâche de « lecture-compréhension », la structure non linéaire des hypertextes peut poser des difficultés au lecteur pour atteindre son objectif

d'apprentissage car souvent la cohérence globale du texte est réduite (Mc Namara & Shapiro, 2005). L'apprenant est mis en position de créer de la cohérence par lui-même à un niveau global, au travers de sa navigation dans le système. Rester orienté lui demande alors de porter son attention ailleurs que sur la lecture et la compréhension des informations délivrées.

Dans un environnement hypermédia, l'apprenant est libre de consulter les nœuds d'informations dans l'ordre qu'il souhaite, ce qui peut alors mener à une séquence de lecture incohérente. Afin de réaliser la tâche d'apprentissage du contenu, l'apprenant doit réaliser une activité de navigation entre les unités informationnelles. Donc au cours de l'épisode d'apprentissage, il doit créer deux représentations : une représentation de la structure de l'hypertexte et une représentation du contenu de l'hypertexte, cette dernière renvoyant au modèle de situation de l'apprenant. La représentation de la structure du texte est essentielle pour l'orientation et la navigation dans l'environnement hypermédia, elle doit permettre au lecteur d'adopter une séquence de lecture cohérente, facilitant ainsi la construction d'un modèle de situation cohérent. L'expérience de Waniek, Brunstein, Naumann et Krems (2003) met en avant cette double construction. Ils demandent aux participants de lire un texte électronique, soit linéaire, soit hypertexte, concernant la construction de la ligne de chemin de fer trans-sibérienne. Les différentes parties du texte sont présentées dans un ordre incohérent, i.e. l'ordre de présentation des nœuds ne correspond pas à l'ordre chronologique des événements dans un modèle de situation cohérent. Les groupes d'apprenants ne diffèrent pas dans le nombre de connaissances factuelles rappelées suite à la lecture. Cependant, les participants dont la consultation des nœuds est linéaire reproduisent avec plus de succès la structure du document dans une épreuve de tri de cartes (*card sorting task*), qui consiste à reproduire la structure du texte lu en choisissant et en organisant un ensemble de cartes représentant les unités d'informations. Par contre, les apprenants dont la consultation des nœuds correspond au modèle de situation postulé sont ceux qui produisent le résumé le plus cohérent.

La navigation dans les nœuds d'informations influence la représentation mentale du contenu informationnel, i.e. la représentation de la structure du texte détermine la construction du modèle de situation et sa cohérence. Pour Foltz (1996), les lecteurs en situation d'apprentissage hypermédia sont en recherche de cette cohérence. Il observe ainsi que des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage obtiennent de mêmes performances de compréhension en lecture de « texte linéaire » et d'« hypertexte hiérarchique ». En effet, les apprenants dans cette seconde condition adoptent une séquence de lecture similaire à celle proposée en condition de lecture

linéaire. De plus, l'auteur note qu'en condition « hypertexte hiérarchique », les lecteurs qui réalisent une transition non cohérente entre deux nœuds expriment de la confusion et tentent de retourner au nœud précédemment consulté afin de faire un choix de transition plus cohérent. De même, Shapiro (1999b) compare l'apprentissage d'un texte concernant des animaux « fictifs » selon différents formats de présentation des informations, soit linéaire, soit hypertexte. L'un des résultats les plus surprenant est que dans l'épreuve de dessin de la structure du domaine d'apprentissage, indépendamment du type de texte lu, les apprenants dessinent une structure hiérarchique comprenant plusieurs niveaux ordonnés. Donc, lors de l'apprentissage d'un document hypermédia, les apprenants tentent, à travers leur séquence d'ordre de lecture des nœuds d'informations, de se créer un modèle de situation cohérent du domaine d'apprentissage en hiérarchisant les informations consultées.

Cependant, les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine et ceux n'en disposant que de peu ne sont pas égaux face à cette tentative de hiérarchisation des informations. Pour Salmerón, Cañas, Kintsch et Fajardo (2005), les connaissances préalables du lecteur dans le domaine d'apprentissage et la cohérence des nœuds d'informations sont les principaux facteurs contribuant à la compréhension d'un hypertexte. Il est ainsi montré que les apprenants ayant peu de connaissances préalables construisent un meilleur modèle de situation à partir d'un hypertexte hautement cohérent, tandis que les apprenants ayant des connaissances préalables construisent un modèle de situation correct même en situation de lecture d'un hypertexte faiblement cohérent (McNamara & Kintsch, 1996). Le modèle de situation que possèdent les apprenants ayant des connaissances antérieures dans le domaine leur sert d'indice pour organiser les nœuds d'informations présents dans l'environnement et ainsi guider leur navigation dans le réseau d'unités d'informations. Ils peuvent appliquer la structure de leur modèle de situation sur la structure du document hypermédia, au contraire des apprenants ne disposant pas de connaissances préalables. Pour des derniers, il est nécessaire de fournir des indices afin de souligner la macrostructure de l'hyperdocument, par l'utilisation de cartes de contenus par exemple. Concernant les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures dans le domaine, lors de la formation de la base de texte, l'information est structurée et stockée selon l'organisation physique de l'hypertexte. Ainsi, une carte des concepts offre une trame, un squelette, sur lequel construire de nouvelles informations.

Dans un texte traditionnel, le lecteur se repose sur l'ordre de présentation pour déterminer l'organisation du texte; dans un hypertexte, le lecteur doit s'appuyer sur d'autres caractéristiques du texte ou ses connaissances préalables pour former une représentation

cohérente du texte. Dans les expériences de Salmerón, Baccino, Cañas, Madrid et Fajardo (2009), lorsqu'un ordre de lecture est fixé, soit cohérent, soit peu cohérent, ils observent que les apprenants qui lisent la carte de concepts présente dans le document en début de passation la trouvent plus utile lorsqu'ils lisent un texte peu cohérent ou lorsqu'ils possèdent peu de connaissances préalables. Dans une seconde expérience, lorsqu'ils ne donnent aucune instruction sur le traitement de la carte, les participants qui disposent de peu de connaissances préalables ont un score plus élevé aux questions concernant la base de texte lorsqu'ils passent plus de temps à observer la carte en début de passation. Les auteurs font alors l'hypothèse que les apprenants ayant peu de connaissances préalables dans le domaine utilisent la carte en début de lecture pour construire une structure de texte. Pour les apprenants ayant des connaissances antérieures, la carte n'a pas d'effet sur leur compréhension, étant donné qu'ils possèdent une représentation structurée du domaine.

Shapiro (1999a, 2000) suggère qu'il est nécessaire de fournir aux apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine une carte des contenus structurée afin de guider la construction de leur représentation du domaine car la structure de cette carte influence les comportements de navigation des apprenants et la cohérence de leur modèle de situation. Ainsi, dans ses expériences, l'objectif d'apprentissage signalé aux apprenants est d'apprendre un maximum d'informations concernant les écosystèmes. Deux cartes distinctes sont proposées, l'une qui structure les informations selon différents types d'écosystème et l'autre, selon différentes familles d'animaux (les informations concernant les écosystèmes sont alors incluses dans les nœuds relatifs à chaque animal). Il apparaît que les apprenants obtiennent de meilleures performances d'apprentissage lorsque la carte correspond à l'objectif d'apprentissage. Ainsi, les apprenants ayant consulté la carte « familles d'animaux » ont construit une représentation mentale du domaine sur la base de l'organisation des informations signalée par la carte, sans plus tenir compte de la consigne d'apprentissage qui était d'apprendre les informations concernant les écosystèmes.

De l'ordre de lecture des nœuds d'informations dépend la cohérence du modèle de situation. Si les apprenants ayant des connaissances préalables disposent d'une représentation cohérente du domaine qu'ils peuvent appliquer sur la structure de l'environnement d'apprentissage, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures ont besoin d'être guidés concernant le séquençage de leur épisode d'apprentissage, et la mise en place d'une stratégie de consultation pertinente.

1.2 Niveau de connaissances préalables dans le domaine et stratégie de consultation

Le terme « stratégie » est ici entendu comme un ensemble de procédures mises en place afin de réaliser une tâche, ce terme n'étant à employer que si plusieurs procédures peuvent permettre la réalisation de la tâche (Bisanz & Lefevre, 1990). Dans le cas d'une tâche de « lecture-compréhension » d'un hypertexte, il est possible de parler de « stratégies de lecture » puisque l'apprenant peut naviguer à travers les nœuds d'informations selon différents parcours afin d'atteindre son objectif d'apprentissage. Les stratégies de lecture dans les hypertextes peuvent être considérées comme une suite de prises de décision d'un lecteur concernant sa navigation dans les nœuds de l'hypertexte. Ces stratégies pourraient affecter la quantité d'informations acquises et l'ordre de lecture. Or, la quantité d'informations lues peut affecter la base de texte et l'ordre de lecture peut affecter le modèle de situation. Pour exemple, dans leurs expériences, Salmerón, Cañas, Kintsch et Fajardo (2005) observent que lors de la lecture d'un hypertexte contenant une table de contenus, plus les apprenants ayant peu de connaissances préalables consultent de nœuds, meilleures sont leurs performances aux questions concernant la base de texte. Concernant tous les participants, ceux utilisant une stratégie de consultation linéaire ont de meilleures performances aux questions d'inférence, car ils accèdent à plus de nœuds et ont un parcours plus cohérent.

Si les stratégies de consultation affectent la quantité d'informations acquises et l'ordre de lecture, il est à observer que les apprenants n'adoptent pas de mêmes stratégies, selon leur niveau de connaissances antérieures dans le domaine. McGregor (1999) demande aux participants d'apprendre un document portant sur plusieurs biotopes. Il observe deux profils de navigation : un profil « apprentissage séquentiel », caractérisé par un accès séquentiel aux nœuds de la gauche vers la droite et de haut en bas, et un profil « connexion de concepts », qui renvoie à des modes d'accès multiples aux nœuds. L'expérience compte peu de participants ($N = 10$) mais il apparaît que les apprenants correspondant au premier profil ont un niveau de connaissances préalables du domaine moins important que celui des apprenants ayant un profil « connexion de concepts ». Ainsi, les apprenants disposant de peu de connaissances préalables utilisent la structure du système afin de rester orientés et expriment lors de protocoles verbaux une préoccupation d'être aussi exhaustifs que possible. Les apprenants disposant de plus de connaissances antérieures montrent un intérêt pour la mise en lien des informations avec des nœuds d'information sémantiquement liés et expriment le souhait de plus d'informations et d'exemples. Lors d'une épreuve de dessin de cartes, ces derniers démontrent une compréhension plus complexe de la structure du domaine, leur carte

comprenant plus de niveaux hiérarchiques et de liens sémantiques riches, l'explication étant qu'ils sont capables de croiser les informations du document donc de se construire une représentation du domaine hautement interconnectée. La carte dessinée par les apprenants ayant une stratégie « séquentielle » inclut des relations sémantiques et l'organisation hiérarchique est décrite par plusieurs connections correctes, ils identifient les caractéristiques et les membres de chaque biotope mais ne réussissent pas à faire des liens croisés entre eux.

Lors d'un apprentissage hypermédia relatif à différents concepts de physique, Rezende et de Souza Barros (2008) observent trois stratégies de navigation qui chacune correspond à un niveau de connaissances préalables dans le domaine : (1) les apprenants ayant le plus de connaissances préalables adoptent une navigation « ordonnée » (*organized navigation*) qui renvoie à une exploration exhaustive du document et à une utilisation fréquente de l'index pour naviguer et « ordonner » leur consultation, ce qui laisse à supposer qu'ils utiliseraient le document pour réviser des concepts plus que pour apprendre ; (2) les apprenants ayant quelques connaissances préalables ont une navigation qualifiée de « conceptuelle » (*conceptual navigation*) au cours de laquelle ils passent plus de temps sur certains noeuds d'informations selon leurs besoins cognitifs, et accordent plus d'attention aux informations qui leur ont posé problème lors du pré-test de connaissances ; (3) les apprenants ayant le moins de connaissances préalables dans le domaine ont une navigation « désordonnée » (*disoriented navigation*) dans le sens où, à plusieurs reprises, ils consultent des pages d'informations moins de trois secondes, *i. e.* un temps insuffisant pour la lecture des informations comprises dans la page. Les auteurs supposent alors que le manque de connaissances préalables des apprenants dans le domaine d'apprentissage empêcherait ces derniers de rechercher les contenus qui leur manqueraient. Federico (1999) suggère de même que le contrôle par l'apprenant de son épisode d'apprentissage hypermédia suppose qu'il possède suffisamment de connaissances préalables pour pouvoir sélectionner les informations dont il a besoin et les lier entre elles.

Les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine éprouvent donc des difficultés à choisir une stratégie de consultation pertinente au regard de leur état de connaissances. Décider de sa stratégie de lecture revient à prendre de multiples décisions concernant les noeuds d'informations à consulter et leur ordre de consultation. En d'autres termes, choisir sa stratégie de lecture revient à exercer un contrôle sur son épisode d'apprentissage. Donc, pour les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine, leurs difficultés à adopter une stratégie de lecture pertinente en situation

d'apprentissage hypertexte renvoie à des difficultés à exercer un contrôle sur l'environnement d'apprentissage.

1.3 Niveau de connaissances préalables et contrôle de l'épisode d'apprentissage

Le contrôle de l'apprenant renvoie de façon générale à l'ensemble des décisions prises par un apprenant en vue de la réalisation d'une tâche d'apprentissage, décisions qui concernent le séquençage, le contenu à consulter et le rythme de consultation.

Les revues de la littérature concernant les environnements hypermédias ont une vision nuancée de l'intérêt pour l'apprentissage du contrôle laissé à l'apprenant sur son épisode d'apprentissage dans ces environnements (cf. Dillon & Gabbard, 1998 ; Dillon & Jobst, 2005 ; Scheiter & Gerjets, 2007). Cependant, elles s'accordent sur le fait que le niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine est une caractéristique individuelle qui affecte l'utilisation du contrôle par l'apprenant. Les recherches concernant les différences individuelles suggèrent en effet que les connaissances préalables dans le domaine ont un effet significatif sur les performances d'apprentissage selon le niveau de contrôle offert à l'apprenant sur son épisode d'apprentissage. Les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables, faute de modèle de situation leur permettant de structurer les nœuds d'informations contenus dans l'environnement, semblent faire de mauvais choix de stratégies de navigation lorsqu'ils sont libres de contrôler leur épisode d'apprentissage. Selon McNamara & Shapiro (2005), les apprenants ayant peu de connaissances dans le domaine d'apprentissage ont besoin d'indications explicites des liens importants entre les nœuds et gagnent à avoir moins de contrôle sur la navigation dans le système d'apprentissage. Ainsi, Shin, Schallert et Savenye (1994) observent que les apprenants disposant de peu / pas de connaissances préalables dans le domaine ont, d'une part, de moins bonnes performances d'apprentissage en situation de contrôle par l'apprenant par rapport à une situation de contrôle par le système, et d'autre part, par rapport à des apprenants disposant de connaissances préalables placés dans des situations d'apprentissage identiques. Dans son étude, Gay (1986) manipule le type de contrôle proposé à l'apprenant, à savoir « contrôle par le système » et « contrôle par l'apprenant », et observe que les apprenants ayant peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage ont de moins bonnes performances au post-test en condition « contrôle par l'apprenant » par rapport aux apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage, et par rapport aux apprenants ayant peu de

connaissances préalables placés en condition « contrôle par le système ». Lee et Lee (1991) observent quant à eux qu'en phase d'acquisition des connaissances, le « contrôle par le système » est plus efficace en termes de performances d'apprentissage, tandis qu'en phase de révision des connaissances, le « contrôle par l'apprenant » est plus efficace.

Les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine montrent des difficultés à exercer un contrôle sur l'épisode d'apprentissage lorsque celui-ci concerne un document hypermédia. Ainsi, ils obtiennent de meilleures performances en termes de réalisation de la tâche d'apprentissage lorsque le contrôle du séquençage et / ou du contenu à consulter est laissé au système. Or, un environnement hypermédia d'apprentissage se définit essentiellement par la liberté de décision accordée aux apprenants. L'enjeu est donc de déterminer comment concilier la flexibilité d'un environnement d'apprentissage hypermédia et les difficultés des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables à se créer une représentation cohérente de la structure du document, et par conséquent du domaine, et mettre en place une stratégie de consultation pertinente, *i. e.* à exercer un contrôle sur leur épisode d'apprentissage. La solution pourrait consister en une limitation temporaire du contrôle de l'épisode d'apprentissage hypermédia par les apprenants.

2 Hypothèses

Les apprenants ayant peu de connaissances antérieures dans le domaine n'ont pas une représentation mentale du domaine suffisamment élaborée pour leur permettre de décider de quelles informations ils ont besoin et dans quel ordre y accéder. Lors de la consultation du document, il est nécessaire de leur faciliter l'identification de la macrostructure du document et ainsi de soutenir leur construction d'une représentation globale du contenu, ce qui devrait faciliter leur navigation et leur compréhension des informations délivrées. De plus, étant donné les difficultés des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables à gérer le contrôle nécessaire lors de l'utilisation d'un document hypermédia, une solution doit être mise au point afin de limiter les décisions à prendre par ces apprenants tout en conservant une certaine flexibilité de consultation.

Aussi l'hypothèse est-elle faite que les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine obtiendraient de meilleures performances à la tâche d'apprentissage si le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage était contraint dans un premier, jusqu'à consultation complète du document et dans un ordre cohérent. Ce contrôle

« limité », relativement similaire à celui établi par Lee et Lee (1991) dans leur expérience, leur permettrait alors de repérer plus facilement la structure du document hypermédia, ce qui leur donnerait une ossature sur laquelle construire leurs connaissances du domaine. Dans notre étude, les hypothèses testées sont donc les suivantes :

H1 : La contrainte temporaire du contenu et du séquençage, jusqu'à consultation complète des informations, modifierait les comportements de consultation des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine par rapport à une situation où le contrôle de l'apprenant serait libre. Il est ainsi supposé qu'ils mettraient en place plus de comportements de révision, comportements qui dans l'étude 1, apparaissent comme étant un facteur de réussite dans la réalisation de la tâche.

H2 : L'hypothèse est faite que, dans la situation où les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine n'auraient qu'un contrôle limité de leur épisode d'apprentissage, ceux-ci repèreraient mieux la structure du document, en vue de mettre en place ces comportements de révision. Aussi, auront-ils de meilleures performances dans une épreuve de rappel de la structure de l'hyperdocument.

H3 : Si les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine avaient un meilleur repérage de la structuration des informations, alors il est supposé qu'ils construiraient un modèle mental plus cohérent. Ils obtiendraient donc de meilleures performances de compréhension par rapport à des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables placés en situation de séquençage libre, à un niveau global.

H4 : La contrainte temporaire du séquençage améliorerait le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage pour les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables par rapport à une situation où le séquençage serait libre.

H5 : Concernant les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine, il est attendu de n'observer aucune différence en termes de performances d'apprentissage, que le contrôle de l'épisode d'apprentissage soit libre ou limité. Cependant, étant donné que dans la littérature, il apparaît que cette catégorie d'apprenants n'éprouvent pas de difficulté à contrôler leur épisode d'apprentissage et à naviguer à travers les unités d'informations, il est supposé que leur ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage serait plus négatif en situation de contrôle limité.

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Quatre-vingt étudiants, 13 garçons et 67 filles, en première année de psychologie à l'Université de Rennes 2, prennent part à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 18,2 ans ($SD = 1.4$). Leur participation s'est faite sur la base du volontariat.

Les apprenants sont contrastés sur leur niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage. Ainsi, sont considérés a priori comme « apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine » les participants qui n'ont pas encore suivi de cours magistral sur le thème d'apprentissage, soit 40 participants, et sont considérés a priori comme « apprenants ayant des connaissances préalables » les participants ayant assisté à ce même cours magistral quelques jours plus tard, soit 40 participants.

3.2 Matériel expérimental

Le contenu du document hypermédia servant de support d'apprentissage est identique à celui utilisé dans l'expérience 1. L'environnement se présente selon deux formats, différenciant l'un de l'autre par le niveau de contrôle offert à l'apprenant. En format « contrôle libre », l'apprenant a à sa disposition un sommaire, reprenant le titre de chaque nœud d'informations sous la forme d'un lien hypertexte, lui permettant d'accéder librement à ces nœuds, ainsi que des fonctions de contrôle de type « pause », « retour » au nœud d'informations précédent ou « avancer » au nœud d'informations suivant. Ce format est donc identique à celui utilisé dans l'expérience 1. En format « contrôle limité », l'apprenant ne peut accéder dans un premier temps aux nœuds d'informations que dans l'ordre imposé par le système, avec pour unique possibilité de contrôle de revoir un nœud d'informations auparavant consulté grâce au sommaire ou aux fonctions de contrôle (cf. Figure 13). Puis, une fois le document consulté dans son ensemble, l'apprenant peut librement utiliser le sommaire et les fonctions de contrôle, lui permettant de consulter à nouveau un / des nœuds d'informations selon ses besoins estimés, dans des conditions similaires à celles du format « contrôle libre ».

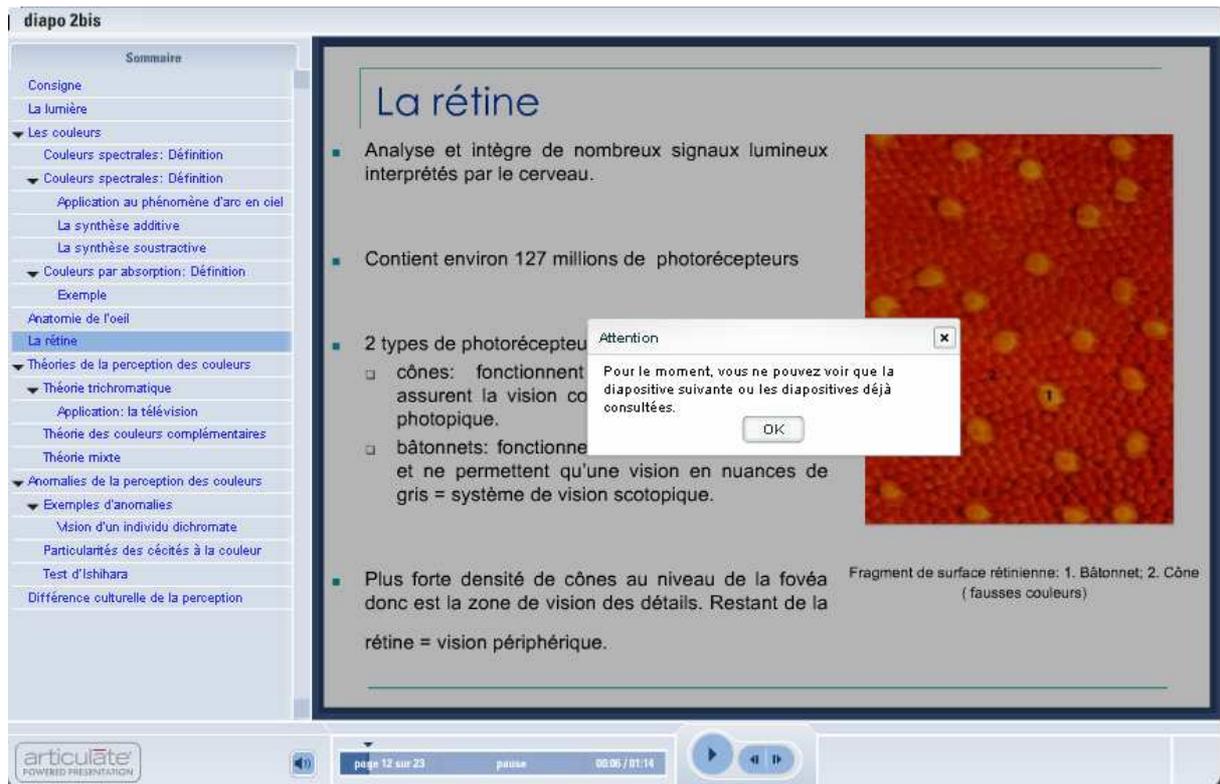


Figure 13: Message affiché en cas de non consultation linéaire en condition de « contrôle limité »

Ainsi, la première page de l'environnement hypermédia, dédiée à la consigne de l'expérience, diffère-t-elle entre les deux formats de présentation. En condition « contrôle libre », la consigne est identique à celle de l'expérience 1. En condition « contrôle limité », il est expliqué aux apprenants qu'ils devront dans un premier temps respecter l'ordre de consultation imposé par le système et que, suite à cette consultation, ils pourront, s'ils en ressentent le besoin, consulter le document « librement », *i. e.* sans contrainte de temps ou d'utilisation des fonctions (cf. Figure 14).

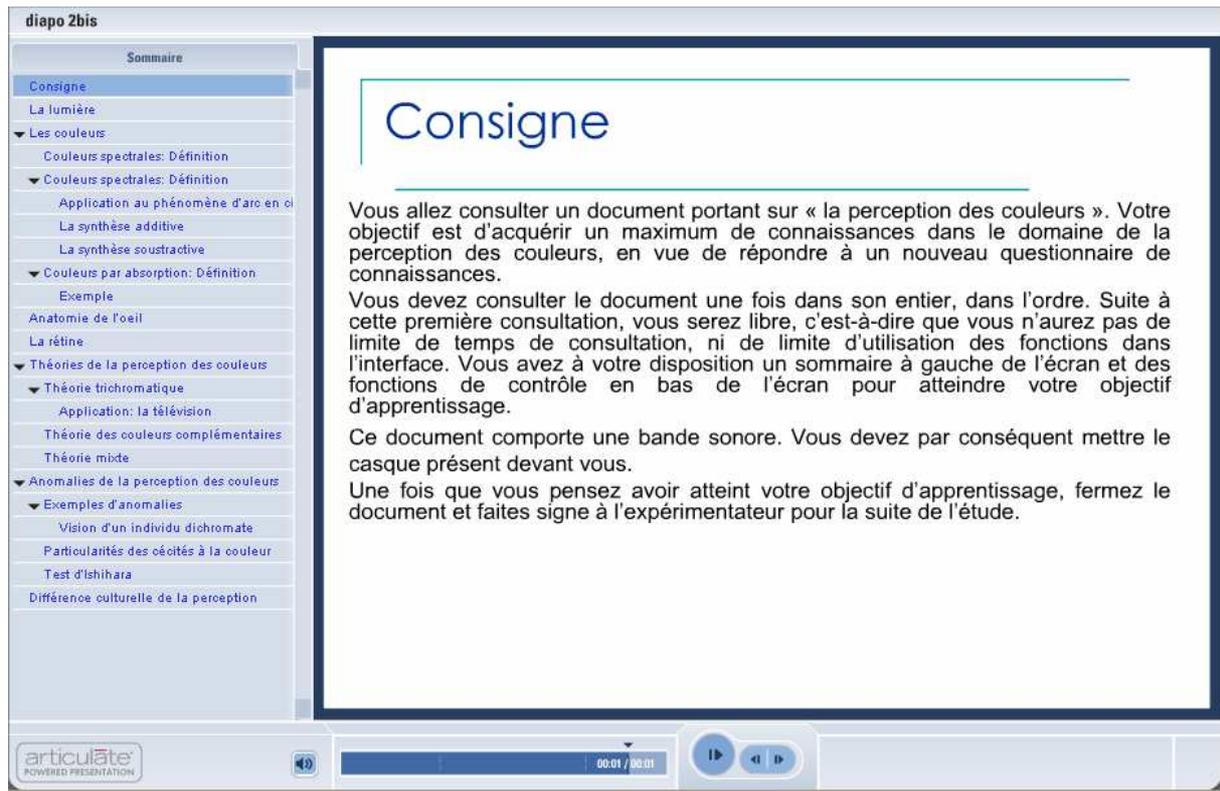


Figure 14: Copie d'écran de la consigne utilisée en format « contrôle limité »

L'objectif de consultation reste le même pour tous : acquérir autant de connaissances que possible dans le domaine de la perception des couleurs, en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances.

Ainsi, les apprenants contrastés selon leur niveau de connaissances préalables sont affectés, de façon aléatoire, pour moitié au format « contrôle libre », et pour autre moitié au format « contrôle limité ». Le plan d'expérience est donc un plan 2 (niveau de connaissances préalables)*2 (niveau de contrôle de l'épisode).

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage

A l'instar de l'expérience 1, le niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage est évalué par 6 questions ouvertes concernant la perception des couleurs et d'un schéma de l'œil à compléter. A chaque bonne réponse et légende correcte, l'apprenant se voit attribuer 1 point. En cas d'erreur ou d'absence de réponse, l'apprenant ne se voit pas attribuer de point.

3.3.b Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Ce questionnaire subjectif est identique au questionnaire subjectif utilisé dans l'expérience 1. Il comprend donc deux facteurs : un facteur de contrôle perçu et un facteur de charge cognitive perçue. Concernant les items de contrôle perçu, chacun renvoie à l'un des trois types de contrôle impliqués par l'utilisation de tout environnement hypermédia, à savoir le contrôle du séquençage, le contrôle du rythme du document et le contrôle du contenu. Les items de charge cognitive perçue renvoient à une évaluation subjective de la charge cognitive induite par la situation d'apprentissage.

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. Les apprenants doivent se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.c Performances d'apprentissage

Le questionnaire de connaissances administré en fin de passation est identique à celui utilisé dans l'expérience 1, et comprend donc au total 14 questions de type « questions ouvertes », dont 7 questions de paraphrase, pour évaluer la mémorisation des informations contenues dans le document, et 7 questions d'inférence qui visent à évaluer la compréhension des informations.

Parmi les questions d'inférence, sont distinguées les inférences réalisées à un niveau local, *i. e.* qui nécessitent de mettre en relation différentes informations comprises dans un seul nœud (soit 3 items), et au niveau global, *i. e.* dont la réponse demande de mettre en lien des informations contenues dans deux nœuds d'informations distincts (soit 4 items).

Le questionnaire est corrigé en aveugle par un seul correcteur. Chaque question est notée sur 1 point. Aucun point n'est accordé pour une réponse manquante, incomplète ou erronée.

3.3.d Epreuve de rappel de la structure du document

Afin d'évaluer la qualité de la construction du modèle mental, est administrée, en plus du questionnaire de connaissances, une épreuve de rappel de la structure du document hypermédia. Les apprenants ont pour consigne de rappeler les titres des pages qui composent

le document, en respectant la hiérarchie présente dans le sommaire de l'environnement hypermédia (cf. Annexe 8).

L'épreuve est corrigée en aveugle, par un seul correcteur. Un point est accordé pour un titre correctement replacé dans la hiérarchie du sommaire, et cela même si le titre est rappelé « approximativement » (titre non restitué « mot à mot » ou description du contenu de la page). Lorsque le titre donné n'est pas représentatif de la page ou lorsque le titre n'est pas restitué correctement dans la hiérarchie, aucun point n'est attribué.

3.3.e Indices de navigation

Lors de la consultation du document, toute activité des apprenants à l'écran est enregistrée grâce au logiciel CamStudio, depuis le passage de la page de consigne à la première page d'informations consultée jusqu'à la fermeture du document par l'apprenant. Sont ainsi pris en compte les occurrences d'utilisation de chaque fonction de contrôle, le nombre total de pages consultées et le nombre de pages consultées moins de trois secondes, cette dernière donnée étant interprétée comme un signe de désorientation (Britt, Rouet & Perfetti, 1996 ; Rezende & de Souza Barros, 2008). En effet, en moins de trois secondes, les apprenants ne peuvent ni consulter le contenu de la page, ni rechercher une information dans la bande sonore. Aussi, ce comportement est-il considéré comme étant relatif à l'activité de navigation et non à l'activité d'apprentissage du contenu informationnel.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle découpée en quatre box, chaque box étant équipé d'un écran 17 pouces, d'une souris et d'un casque audio. Dans un premier temps, les participants répondent à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à leur âge, leur genre, leur baccalauréat et leur cursus universitaire antérieur éventuel.

Une fois ces premières questions remplies, ils complètent le pré-questionnaire de connaissances dans le domaine de la perception visuelle. Celui-ci permet de vérifier a posteriori si l'état de connaissances préalables des participants est conforme à celui attendu.

Suite à ce pré-questionnaire, les apprenants consultent le document suivant la consigne qui leur est donnée dans le document.

Lorsque les apprenants estiment avoir atteint leur objectif d'apprentissage, ils ferment seuls le document. Le questionnaire subjectif de ressenti vis-à-vis de l'apprentissage leur est

alors fourni, puis le questionnaire de connaissances. Enfin, les apprenants réalisent l'épreuve de rappel de la structure du document, sans possibilité de pouvoir s'appuyer sur leurs réponses au questionnaire précédent.

La durée moyenne des passations est d'environ 40 minutes (plus ou moins 10 minutes).

4 Résultats

Seules les données de 75 des participants sont conservées pour les analyses statistiques. En effet, parmi les apprenants supposés avoir des connaissances préalables concernant la perception des couleurs, 4 d'entre eux n'ont pas obtenu 50 % ou plus de 50 % de bonnes réponses au pré-test de connaissances. Parmi les apprenants supposés n'avoir pas ou peu de connaissances préalables, l'un d'entre eux a obtenu plus de 50 % de bonnes réponses au pré-questionnaire.

4.1 Analyses des performances d'apprentissage

Le test d'homocédasticité de Levene ne laisse pas apparaître d'hétérogénéité significative des variances des performances d'apprentissage, concernant le score aux questions de paraphrase $F(3, 71) = 2.23, p = .09$, concernant le score aux questions d'inférence $F < 1$, concernant le score à l'épreuve de rappel de la structure, $F(3, 74) = 2.15, p = .11$. Aussi, une analyse de variance multivariée est réalisée.

Il existe un effet principal du niveau de connaissances préalables pour le score de mémorisation, $F(3, 71) = 90.58, p < .01$, le score de compréhension, $F(3, 71) = 84.82, p < .001$, et le score de rappel de la structure $F(3, 71) = 88.67, p < .001$. Il n'y a pas d'effet principal du type de contrôle ni sur la mémorisation $F < 1$, ni sur la compréhension $F < 1$, ni sur le rappel de la structure $F < 1$. Conformément à nos hypothèses, les résultats montrent une interaction entre le niveau de connaissances préalables de l'apprenant et le niveau de contrôle du document pour le score de compréhension, $F(3, 71) = 11.896, MSE = 1.37, p = .001$, et pour le score de rappel de la structure, $F(3, 71) = 9.779, MSE = 3.02, p = .003$, mais pas pour le score de mémorisation, $F(3, 71) = .772, p = NS$.

Tableau 8: Performances au post-questionnaire de connaissances et à l'épreuve de rappel de la structure, selon le niveau de connaissances préalables et le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage

Conditions	N	Paraphrase		Inférence		Rappel de la structure	
		M	SD	M	SD	M	SD
Peu de connaissances							
Contrôle libre	20	3.40	1.27	2.15	1.27	2.85	1.39
Contrôle limité	19	3.74	1.24	3.26	1.10	4.00	1.50
Beaucoup de connaissances							
Contrôle libre	19	6.05	.91	5.58	1.20	7.89	2.08
Contrôle limité	17	5.94	.90	4.82	1.13	6.53	1.94

Notes : le score maximal est de 7 pour les questions de paraphrase et d'inférences, de 22 pour l'épreuve de rappel.

En effectuant des comparaisons planifiées, aucune différence entre les deux niveaux de contrôle de l'apprentissage n'est observée concernant les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine en termes de compréhension des informations ($t = -1.933$, $p = NS$). Cependant, ceux placés en condition de « contrôle libre » ont un meilleur rappel de la structure du document que ceux placés en condition de « contrôle limité » ($t = -2.352$, $p = .02$). Les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables ont de meilleures performances de compréhension en condition de « contrôle limité » par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre » ($t = 2.968$, $p = .004$). De plus, ces mêmes apprenants ont un meilleur rappel de la structure du document en condition de « contrôle limité ». ($t = 2.065$, $p = .04$).

Concernant les performances des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables aux questions d'inférence de niveau local et global, le test d'homocédasticité de Levene met en évidence une absence d'hétérogénéité significative des variances, $F(1, 37) = 3.349$, $p > .05$ pour les inférence de niveau local et $F(1, 37) = 1.22$, $p > .05$ pour les inférences de niveau global.

Tableau 9: Détails des performances des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables aux questions de compréhension, selon le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage

Conditions	N	Inférence au niveau local		Inférence au niveau global	
		M	SD	M	SD
Peu de connaissances					
Contrôle libre	20	1.3	.745	.85	.745
Contrôle limité	19	1.74	.562	1.53	.905

Notes : Le score maximal est de 3 pour les inférences de niveau local et de 4 pour les inférences de niveau global.

L'analyse de variance multiple réalisée laisse apparaître que les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent des performances significativement supérieures aux apprenants en condition de « contrôle libre » pour les questions d'inférence au niveau global, $F(1, 37) = 6.521$, $MSE = .683$, $p = .02$, mais les deux groupes d'apprenants ne se distinguent pas concernant les questions d'inférence au niveau local, $F(1, 37) = 3.323$, $MSE = .439$, $p = NS$.

4.2 Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Au regard du test d'homocédasticité des variances de Levene, les variances des scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage sont homogènes, $F(3, 71) = 3.16$, $p = .08$ pour le contrôle perçu et $F(3, 71) = 1.68$, $p = .18$ pour la charge cognitive perçue. Aussi, une analyse de variance multiple est-elle réalisée.

Aucun effet principal du niveau de connaissances préalables n'est observé, ni sur le contrôle perçu, $F(3, 71) = 1.37$, $p = NS$, ni sur la charge cognitive perçue, $F < 1$. De la même façon, il n'y a pas d'effet principal du type de contrôle, ni sur le contrôle perçu $F < 1$, ni sur la charge cognitive perçue $F < 1$. En revanche, il y a interaction entre les deux facteurs de l'étude, concernant le contrôle perçu, $F(3, 71) = 22.12$, $MSE = 4.25$, $p < .001$, et la charge cognitive perçue, $F(3, 71) = 10.47$, $MSE = 3.29$, $p = .002$.

Tableau 10: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine et le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage

Conditions	<i>N</i>	Contrôle perçu		Charge cognitive perçue	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Peu de connaissances					
Contrôle libre	20	13.51	2.31	12.90	2.02
Contrôle limité	19	15.42	2.20	11.37	1.48
Beaucoup de connaissances					
Contrôle libre	19	15.20	1.46	11.72	1.98
Contrôle limité	17	12.62	1.48	12.90	1.69

Note : le score maximal est de 20 pour chaque facteur.

Les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine n'expriment pas de charge cognitive significativement différente ($t = 1.954, p = \text{NS}$) en condition de « contrôle libre » et en condition de « contrôle limité », mais expriment un meilleur contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage ($t = -3.747, p < .001$) en condition de « contrôle libre ». A l'inverse, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables, placés en condition de « contrôle limité », expriment une charge cognitive significativement moins importante ($t = -2.637, p = .01$), et un meilleur contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage ($t = 2.888, p = .005$) par rapport à la même catégorie d'apprenants, placés en condition de « contrôle limité ».

4.3 Analyses des indices de navigation

4.3.a Analyse qualitative des stratégies de consultation

Concernant les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine, le fait de contraindre temporairement le séquençage augmente le nombre moyen d'apprenants adoptant une stratégie de type « révision ». Un test de Khi-deux

d'ajustement révèle qu'il existe une différence significative de répartition de ces apprenants entre les différentes stratégies selon le niveau de contrôle offert, $\chi^2 = 9.023$, $ddl = 3$, $p = .023$. Pour les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage, la répartition des individus est relativement semblable entre le niveau de contrôle « libre » et le niveau de contrôle « limité », $\chi^2 = .334$, $ddl = 3$, $p = .953$. La contrainte temporaire n'aurait donc pas d'impact significatif sur leur choix de stratégie de consultation.

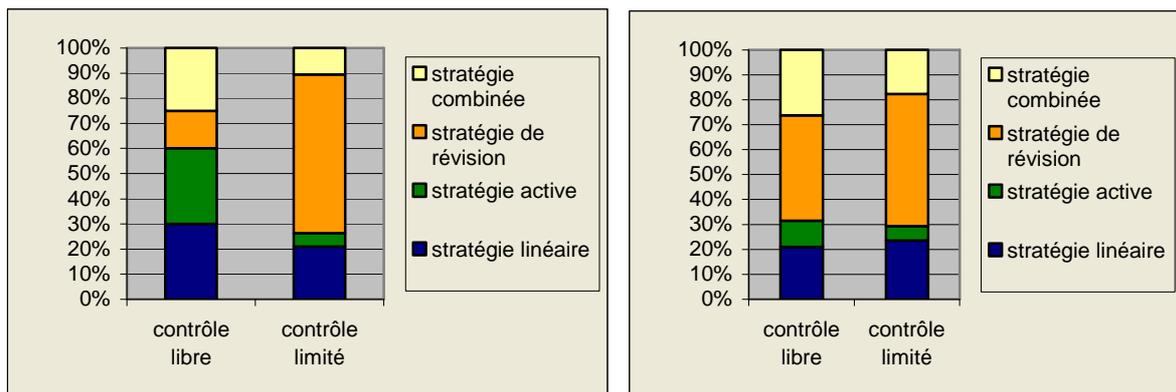


Figure 15: Répartition entre les stratégies de consultation déterminées, respectivement des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables et des apprenants ayant des connaissances préalables

4.3.b Analyse quantitative des parcours de consultation

Avant de réaliser une analyse de variance multiple, il est vérifié que les variances des indices de navigation sont homogènes, pour le nombre total de nœuds consultés, $F(3, 71) = 3.8$, $p = .058$; pour le nombre de nœuds consultés moins de trois secondes, $F(3, 71) = 2.07$, $p = .11$; et pour le nombre total de comportements de révision $F(3, 71) = 1.31$, $p = .074$.

Concernant le niveau de connaissances préalables, il y a un effet principal uniquement sur le nombre moyen d'utilisation de comportements de révision $F(3, 71) = 4.97$, $p = .04$. Il est observé un effet principal du type de contrôle uniquement sur le nombre de nœuds d'informations consultés moins de trois secondes $F(3, 71) = 9.48$, $p = .003$.

Il apparaît une interaction entre les deux facteurs de notre étude concernant le nombre moyen de comportements de révision, $F(3, 71) = 11.03$, $MSE = 2.04$, $p < .001$, le nombre de nœuds d'informations consultés, $F(3, 71) = 7.76$, $MSE = 3.57$, $p = .007$, et le nombre de nœuds consultés moins de trois secondes, $F(3, 71) = 5.94$, $MSE = 3.87$, $p = .034$.

Les comparaisons planifiées montrent que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables consultent plus de noeuds durant un temps inférieur à moins de trois secondes en condition de « contrôle libre » qu'en condition de « contrôle limité » ($t = 2.926, p = .005$). Ils mettent en place significativement plus de comportements de révision en condition de « contrôle limité » comparé à la condition de « contrôle libre » ($t = 2.968, p = .004$). Concernant les apprenants ayant des connaissances préalables, ils ne se différencient pas significativement concernant leur comportement de consultation entre les deux formats de contrôle, cependant ils consultent plus de noeuds d'informations en condition de « contrôle libre » $t = 2.901, p = .005$.

5 Conclusion

Dans l'expérience 1, il était observé une difficulté pour les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables à mettre en place des stratégies de consultation pertinente étant donné leur niveau de connaissances préalables. Sur la base des études de Gay (1986), Lee et Lee (1991) et Shin, Schallert et Savenye (1994), il était supposé que de réduire le niveau de contrôle laissé à l'apprenant sur son épisode d'apprentissage aurait un effet bénéfique sur les performances d'apprentissage. En contraignant dans un premier temps le séquençage du document jusqu'à consultation complète de tous les noeuds d'informations, les efforts de l'apprenant se porteraient vers l'apprentissage des informations et le repérage de la structure du document, et ne seraient pas détournés par la détermination des informations à consulter ou de leur ordre de lecture.

Les analyses statistiques laissent apparaître une interaction significative entre le niveau de connaissances préalables des apprenants et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage concernant les performances de compréhension. Conformément à nos hypothèses, si les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine obtiennent des performances de compréhension similaires que le séquençage soit contraint ou libre (**H5**), en revanche, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables obtiennent de meilleures performances en condition de « contrôle limité » (**H3**). Lorsque les questions d'inférence sont contrastées selon qu'elles portent sur un niveau local ou global de compréhension, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables se distinguent uniquement concernant les questions d'inférence de niveau global, les apprenants en condition de « contrôle limité » obtenant de meilleures performances. Il est alors supposé que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances, lorsque le séquençage est libre, portent leur

attention sur la compréhension des informations dans chaque nœud d'informations, au détriment d'une compréhension plus globale du domaine d'apprentissage. A l'inverse, lorsque le séquençage est contraint dans un premier temps, alors les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances portent leur attention aussi bien sur la compréhension à un niveau local que global, cherchant à lier sémantiquement les nœuds d'informations entre eux. Ces résultats sont semblables à ceux observés par Potelle et Rouet (2003) ou encore de Jong et van der Hulst (2002) (cf. Expérience 1, section 1.2.a • Interaction avec le contenu de l'environnement) pour lesquels un outil qui soulignait la structure hiérarchique du domaine permettait une amélioration de la compréhension des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables uniquement au niveau de la macrostructure, au détriment de la compréhension à un niveau plus local.

Pour tous, les performances de rappel de la structure sont meilleures en condition de contrôle limité, alors que l'on aurait pu supposer qu'ils ne tiendraient pas compte du séquençage lorsque celui-ci est contraint, et que par conséquent, ils ne repéreraient pas la structure du document. Pour les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables, qui ne peuvent donc appliquer leur structure de connaissances sur la structure du document pour naviguer, le séquençage contraint leur permet de repérer plus facilement l'arrangement des nœuds d'informations dans le système (**H2**), ce qui serait à mettre en lien avec leurs meilleures performances de compréhension en condition de « contrôle limité ». Si les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables repèrent plus facilement la structure du document, étant donné que la structure du document créé est cohérente, ils devraient construire une représentation plus cohérente du domaine, *i. e.* un meilleur modèle de situation. Qui plus est, conformément à notre hypothèse (**H1**), les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine mettent en place majoritairement une stratégie de type « révision » en condition de « contrôle limité ». La contrainte temporaire du séquençage modifie leur choix de stratégie de consultation. Au regard des résultats de l'étude 1, l'absence de comportements de navigation lors d'une première consultation des informations et la mise en place de comportements de révision sont des comportements de navigation pertinents pour atteindre l'objectif de la tâche de « lecture-compréhension » demandée. D'un point de vue quantitatif, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables placés en condition de « contrôle limité » mettent en place significativement plus de comportements de révision et consultent moins de nœuds pendant un temps inférieur à trois secondes. En considérant cette donnée comme un indice de désorientation dans l'espace hypermédia, les apprenants contrôlent plus leur navigation en condition de « contrôle limité ».

Ces résultats sont à mettre en relation avec le questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage. Les apprenants disposant de moins de connaissances préalables expriment une charge cognitive moindre et un contrôle perçu plus important en condition de « contrôle limité » (H4). A l'inverse, les apprenants disposant de connaissances préalables expriment un meilleur contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage en condition de « contrôle libre ». Ces derniers obtiennent des performances de compréhension équivalentes que le séquençage soit contraint ou non, et dans les deux situations, mettent en place des stratégies de consultation pertinentes. Les apprenants ayant des connaissances préalables peuvent utiliser leur structure de connaissances pour naviguer pertinemment dans l'environnement hypermédia et comme supposé par Federico (1999), le fait d'avoir des connaissances préalables doit leur permettre d'orienter leur attention sur l'apprentissage des informations plus que sur le contrôle du séquençage, mais aussi de pouvoir repérer les lacunes dans leur modèle de situation préexistant ou les incohérences entre leurs connaissances préalables et les informations contenues dans les nœuds d'informations. Aussi, expriment-ils un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage plus important lorsque le séquençage est libre, bien qu'ils adoptent dans les deux situations des comportements de navigation similaires et obtiennent de mêmes performances de compréhension.

Parce que les informations sont organisées de façon non-linéaire dans un document hypertextuel, les apprenants doivent contrôler leur lecture, évaluer leurs besoins d'informations et rechercher de l'information en sélectionnant les liens. Les apprenants peuvent éprouver des difficultés à établir des relations sémantiques entre les nœuds d'informations (Salmerón et al, 2005), ce qui nuit à la construction d'une représentation mentale cohérente du contenu. Dans cette étude, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine repèrent mieux la structure de l'environnement d'apprentissage lorsque le séquençage est contraint. Etant donné que celle-ci est relativement cohérente, ce meilleur repérage de la structure du document amène parallèlement à la mise en place de plus de comportements de révision et à la construction d'un modèle de situation plus structuré, les apprenants ayant une compréhension du domaine d'apprentissage aussi bien à un niveau local que global.

Si en situation de « contrôle limité », la consigne donne des indications sur comment consulter les informations alors qu'en situation de « contrôle libre », ces indications sont absentes, toutes deux donnent pour objectif principal d'apprendre les informations contenues dans le document en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances. Cependant, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine en

situation de « contrôle libre » semblent quitter prématurément leur épisode d'apprentissage au regard de leurs performances de compréhension au post-questionnaire. Selon Fayol et Gaonac'h (2003), trois facteurs peuvent expliquer pourquoi certains lecteurs mettent en place moins de comportements de révision ou de ralentissement de la lecture lors de l'apprentissage d'un texte linéaire : (1) ces lecteurs ne disposent pas de ces stratégies ; (2) ces lecteurs ne perçoivent pas l'utilité de ces stratégies ; (3) ces lecteurs ne pensent pas que leur réussite au post-test dépende de leurs efforts. Etant donné que les participants à ces expériences sont des étudiants et donc des lecteurs dits « experts », ils devraient disposer de ces stratégies. Aussi, dans l'étude 3, il est envisagé d'expliquer cette clôture de l'épisode d'apprentissage avant l'atteinte de l'objectif d'apprentissage par le second facteur, *i. e.* une métacompréhension erronée des apprenants en condition de « contrôle libre » et de remédier à cette difficulté par l'attribution d'un feedback concernant leur état de connaissances à l'intérieur même du document hypermédia.

Expérience 3 : Contrôle libre ou limité de l'épisode d'apprentissage hypermédia : Une question de différence de métacompréhension ?

Résumé :

Concernant les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage, la contrainte temporaire du séquençage modifie les stratégies de navigation, entraînant plus de comportements de révision, et permet de meilleures performances de compréhension. Cependant, tous les apprenants ne mettent pas en place ces comportements, certains quittant « prématurément » l'épisode d'apprentissage aux vues de leurs performances au post-questionnaire de connaissances. Aussi, il est supposé que ces apprenants auraient une métacompréhension erronée et que l'ajout d'un feed-back dans le document permettrait d'objectiver leur métacompréhension. Dans cette étude, le niveau de contrôle offert et la présence d'un QCM dans l'environnement hypermédia sont manipulés. Les résultats de l'étude 2 concernant l'effet de la contrainte du séquençage sont répliqués. Aucun effet du feed-back sur l'état de connaissances des apprenants n'apparaît. Cependant, il est observé que le niveau de métacompréhension des apprenants avant l'épisode d'apprentissage a une influence sur les comportements de navigation lorsque le contrôle de l'épisode d'apprentissage est libre.

1 Introduction

Dans l'expérience 2, malgré le fait que le temps de consultation ne soit pas contraint, il est observé que certains apprenants clôturent l'épisode d'apprentissage prématurément au regard de leurs performances de compréhension au post-test de connaissances. La question est alors de savoir sur quel(s) critère(s) l'apprenant décide de mettre fin à l'épisode d'apprentissage. Etant donné que tous disposent d'un même objectif d'apprentissage, il est à supposer que ces apprenants ont un écart entre la perception de leur atteinte de l'objectif et ce qu'il en est réellement : c'est ce que l'on nomme « l'illusion de savoir ».

1.1 Les apprenants sont-ils les meilleurs juges de leur apprentissage ?

Comme signalé dans les chapitres précédents, un environnement hypermédia d'apprentissage offre à l'apprenant une importante flexibilité dans la gestion de son épisode d'apprentissage. Il peut ainsi décider quels noeuds consulter ou non, et selon quel séquençage. Or, cette flexibilité ne peut profiter à l'apprenant que s'il a conscience de cette liberté de décision et qu'il en fasse un usage pertinent.

Dans une étude portant sur l'apprentissage d'un document multimédia, Kopcha et Sullivan (2008) contrastent les participants selon leur niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage et leur préférence pour le niveau de contrôle de leur épisode d'apprentissage, soit préférence pour un contrôle par l'apprenant soit pour un contrôle par le système. Les apprenants doivent consulter un environnement d'apprentissage concernant une notion de mathématique donnée, en vue de passer un test de résolution de problèmes. Deux types d'environnement sont créés : (1) un environnement contrôlé par l'apprenant, dans lequel celui-ci peut décider du nombre d'exemples à consulter et du nombre d'exercices à réaliser ; (2) un environnement contrôlé par le système, dans lequel l'apprenant doit consulter tous les exemples et réaliser tous les exercices proposés. Les participants sont assignés à un type d'environnement selon qu'il correspond ou non à leur préférence. Concernant le post-test de résolution de problèmes, les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine obtiennent de meilleures performances lorsque le type d'environnement correspond à leur préférence de niveau de contrôle. A l'inverse, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine obtiennent de meilleures performances lorsque le type d'environnement ne correspond pas à leur préférence. De plus, lors de l'analyse du questionnaire subjectif concernant leur perception de l'utilité du système, les apprenants

n'ayant pas ou peu de connaissances préalables expriment une opinion plus positive lorsqu'ils ont travaillé dans un environnement contrôlé par le système alors que leur préférence se porte sur les environnements contrôlés par l'apprenant. Bien que le niveau de contrôle proposé par l'environnement de travail ne corresponde pas à leur préférence, ils reconnaissent toutefois son efficacité à améliorer leur niveau de connaissances dans le domaine. Les auteurs en concluent que de fournir un niveau de contrôle à l'apprenant selon ses préférences ne serait pertinent que pour les apprenants disposant de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage. Ces résultats répliquent ceux obtenus par Hannafin et Sullivan (1996). Ils considèrent l'apprentissage de collégiens disposant de peu de connaissances dans le domaine d'apprentissage. Deux facteurs sont manipulés :

- Le type de document.

Celui-ci est soit une version « complète » dans laquelle l'apprenant peut « sauter » certains exercices ou exemples, soit une version « abrégée » dans laquelle l'apprenant peut consulter à la demande des exemples supplémentaires ou réaliser des exercices supplémentaires.

- La préférence de l'apprenant pour la quantité d'informations

Sur la base de la médiane à un questionnaire subjectif, les apprenants sont contrastés selon qu'ils ont une forte préférence pour recevoir de nombreuses informations ou non.

Les résultats obtenus montrent que les apprenants n'ayant pas / peu de connaissances antérieures dans le domaine qui travaillent dans un environnement qui correspond à leur préférence n'obtiennent pas de meilleures performances d'apprentissage, et accorder le type de document à la préférence de l'apprenant est particulièrement inefficace si l'apprenant a une faible préférence pour recevoir de nombreuses informations. Lors du traitement de la version « abrégée », les apprenants qui ont une faible préférence ont des performances significativement moindres au post-test et utilisent significativement moins d'options au cours de l'épisode d'apprentissage, ces options renvoyant au nombre d'exercices réalisés, au nombre d'exemples consultés et au nombre de relectures de certaines pages.

Merrill (1980) faisait reposer l'efficacité des environnements d'apprentissage hypermédias sur l'idée que les apprenants étaient les plus à même de juger de leurs besoins d'informations et pouvaient ajuster leur épisode d'apprentissage à ces besoins. Il semble que les résultats exposés ci-dessus aillent à l'encontre de cette idée. Les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine éprouvent des difficultés à traiter correctement les informations contenues dans le document et en parallèle prendre des décisions pertinentes concernant la quantité d'instruction à suivre.

1.2 Illusion de savoir

Pour faire une sélection pertinente des exercices à réaliser ou déterminer le nombre d'exercices à réaliser, les apprenants doivent auto-évaluer leur niveau de compréhension. Cette auto-évaluation renvoie à la notion de métacompréhension. La métacompréhension peut se définir comme la conscience et le contrôle que le lecteur a de sa propre compréhension et des stratégies qu'il met en œuvre pour faciliter cette compréhension (*e. g.* Baccino, Salmerón & Cañas, 2008 ; Dunlosky & Lipko, 2007). Cependant, les apprenants ne semblent pas être de bons évaluateurs de leur état de connaissances.

Dans une situation d'apprentissage, quelle qu'elle soit, l'apprenant peut surestimer ou à l'inverse sous-estimer sa compréhension des informations consultées. Si un apprenant sous-estimait son niveau de compréhension, alors il augmenterait son temps d'apprentissage en conséquence, ce qui dans ce cas ne serait pas pertinent. Si au contraire, l'apprenant surestimait son niveau de compréhension, il estimerait alors avoir complété la tâche d'apprentissage avant d'avoir obtenu un niveau de compréhension satisfaisant, ne mettrait pas en place de comportements de révision et clôturerait l'épisode d'apprentissage prématurément. Cette erreur d'évaluation entraverait alors l'apprentissage. Ce dernier phénomène est appelé par Glenberg, Wilkinson et Epstein (1982) « illusion de savoir » (*illusion of knowing*). Afin d'étudier ce phénomène, Glenberg et ses collaborateurs mettent au point un protocole particulier qu'ils utilisent dans une série d'expériences (Glenberg, & Epstein, 1985; Glenberg, & Epstein, 1987; Glenberg, Wilkinson & Epstein, 1982), connu sous le terme de « paradigme de calibration de la compréhension » (*calibration of comprehension paradigm*). Dans ce protocole, les apprenants doivent lire un ensemble de textes. Aucun temps de lecture n'est imposé aux lecteurs qui peuvent ainsi lire à leur rythme ou relire des passages si besoin est. A la fin de chaque texte, les lecteurs doivent répondre à une série de questions qui consiste en une auto-évaluation de leur compréhension du texte et de leur facilité à comprendre le texte. Il leur est enfin demandé d'estimer s'ils sont prêts à répondre à un test concernant le texte lu, en faisant une prédiction de leur score au test en termes de pourcentage de bonnes réponses ou en termes de nombres de questions auxquelles ils répondraient correctement. Les auteurs observent alors que les apprenants sont de mauvais juges de leur niveau de compréhension, et que dans la majorité des cas, ils surestiment leur niveau de compréhension et leur niveau de préparation au test à venir.

Certains facteurs peuvent réduire cet écart de perception. Rawson, Dunlosky et Thiede (2000) observent que l'écart entre les performances de compréhension attendues et les performances réellement obtenues se réduit lorsqu'il est demandé aux apprenants de relire plusieurs fois le texte. Thiede et Anderson (2003) observent une réduction de cet écart à la condition que les apprenants soient contraints de résumer le texte avant de compléter l'évaluation de leur niveau de compréhension puis Thiede, Anderson et Therriault (2003) observent une réduction similaire lorsqu'il est demandé aux apprenants de produire cinq mots-clefs relatifs à chaque texte lu au préalable de l'évaluation. A l'inverse, certaines caractéristiques de l'apprenant pourraient augmenter cet écart de perception. Ainsi, dans leur expérience, Scheiter, Gerjets, Vollman et Catambrone (2009) utilisent une analyse en clusters pour distinguer des groupes d'apprenants selon plusieurs caractéristiques individuelles. Parmi ces clusters, trois ont des niveaux de connaissances préalables dans le domaine et de confiance dans leurs performances au post-test à venir qui ne se distinguent pas significativement. De ces trois clusters pourtant, l'un obtient de moins bonnes performances au test de connaissances. Or, ce groupe d'apprenants, qui présente donc un écart important entre ses performances prédites et ses performances réelles, se distingue des deux autres par son attitude envers le thème d'apprentissage. En effet, ces apprenants expriment une motivation moindre à apprendre et une confiance moindre dans leurs capacités à apprendre dans le domaine des mathématiques, et expriment une utilisation moindre de stratégies cognitives lorsqu'ils apprennent des informations concernant le domaine des mathématiques.

Dans leur étude, Hacker, Bol, Horgan et Rakow (2000) s'intéressent aux prédictions de performances faites par des apprenants en situation réelle de cours. Tout au long d'un semestre, il est demandé aux apprenants d'évaluer leur performance à un test de connaissances avant et après l'avoir réalisé. De façon générale, il apparaît dans leur étude que le jugement concernant les performances sont influencés par les jugements préalablement émis et non par les performances antérieures. Concernant les apprenants obtenant les meilleures performances, ils formulent les prédictions les plus proches de leurs performances réelles, et leur précision augmente au fur et à mesure des tests passés dans le semestre. Pour les apprenants obtenant les moins bonnes performances, ils surestiment leurs performances aux différents tests avant et après les avoir réalisés.

Concernant les stratégies de navigation, il apparaît dans la littérature que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine ne sauraient détecter leurs lacunes de connaissances (*e. g.* Federico, 1999), ce qui les empêcherait de

mettre en place des comportements de navigation pertinents. Il est à envisager une autre explication en termes de d'illusion de savoir, ces apprenants surestimant leur compréhension du domaine et leur performance au test de connaissances à venir. L'utilisation d'un feedback concernant leur état de connaissances actuel pourrait alors les aider à objectiver leur perception et réduire cet effet d'« illusion de savoir ».

1.3 Effet de l'attribution d'un feedback sur la métacompréhension

Un feedback peut être définie comme une information fournie par un tiers, un pair, un enseignant, un environnement pédagogique, concernant un ou plusieurs aspects de la performance réalisée par un individu. Dans leur méta-analyse, Azevedo et Bernard (1995) considèrent les études concernant l'effet de l'attribution d'un feedback sur les performances lors d'un épisode d'apprentissage informatisé, et estiment la taille d'effet de la présence d'un feedback à .80, les apprenants ayant un feedback obtenant de meilleures performances d'apprentissage que ceux n'en ayant pas. Cependant, il existe de nombreuses contradictions concernant l'effet positif d'un feedback sur les performances d'apprentissage, les études différant notamment sur le type de feedback attribué et du délai entre la performance et l'attribution du feedback.

Il est supposé dans les recherches portant sur l'utilisation d'un feedback lors d'un épisode d'apprentissage que celui-ci donnerait à l'apprenant l'opportunité d'évaluer son état de connaissances actuel, de déterminer l'adéquation de cet état de connaissances avec l'objectif d'apprentissage fixé, et en cas de non-adéquation, de mettre en place des stratégies afin de remédier aux lacunes ou erreurs de conception détectées. L'attribution d'un feedback lors de l'épisode d'apprentissage devrait ainsi permettre à l'apprenant d'objectiver sa métacompréhension, et éviter des erreurs de type « illusion de savoir ».

Glenberg et Epstein (1985) combinent une évaluation de la performance pré et post-test afin d'étudier l'effet potentiel de la présence d'un feedback. Après la lecture, les apprenants réalisent un ensemble d'épreuves : fournir une évaluation de leur confiance dans le fait de répondre à une question d'inférence concernant le texte lu, répondre à la question d'inférence, évaluer l'exactitude de leur réponse, évaluer à nouveau leur capacité à répondre correctement à une question d'inférence et enfin, répondre à une nouvelle question d'inférence. Les résultats obtenus indiquent un coefficient de calibration « satisfaisant » entre les deux post-tests de calibration et les performances réelles, et entre le second pré-test et les performances réelles. Les auteurs concluent que les feedback générés par les lecteurs en répondant à la

première question d'inférence améliorent (quelque peu) la précision de leur évaluation concernant leurs performances à venir. Ainsi, Walczyk et Hall (1989) suggèrent que l'insertion de questions dans un texte permet aux lecteurs de s'autotester, ce qui en retour peut leur permettre de produire un feedback pour améliorer la calibration de leur compréhension. Les participants lisent un texte concernant les statistiques descriptives. Une version du texte contient une question insérée à la fin de chaque paragraphe, tandis qu'une autre version n'en contient aucune. Les auteurs observent que l'insertion de questions dans le texte améliore l'auto-estimation des apprenants concernant leur niveau de compréhension, en pré et post-test, celui-ci étant plus proche du niveau réel que lorsque aucune question n'est insérée dans le texte. L'utilisation de questions insérées permet à l'apprenant de générer de lui-même un feedback concernant son état de connaissances, ce qui améliorerait sa calibration de compréhension. Pressley, Snyder, Levin, Murray et Ghatala (1987) utilisent dans leur expérience non pas des questions insérées mais des items de complétement de phrase à réaliser après la lecture de chaque paragraphe. Il apparaît que pour les lecteurs ayant complété les items insérés, leur évaluation de leurs performances est aussi précise en pré-test qu'en post-test. Pour ceux n'ayant pas complété ces items, leur évaluation est plus proche du réel en post-test, *i. e.* uniquement après avoir réalisé l'épreuve.

Ces études précédemment décrites mettent en évidence le fait qu'un feedback a un effet positif sur la calibration. A l'inverse, certaines études telle que celle de Maki et Berry (1984) échouent à produire des résultats similaires. Cependant, dans l'étude de Maki et collaborateur, le feedback est explicite, *i. e.* l'expérimentateur indique l'exactitude ou non des réponses, alors que dans les autres études, le lecteur lui-même génère le feedback. D'autres facteurs peuvent altérer l'efficacité de la présence d'un feedback. Ainsi, la dissimilitude des questions insérées et des questions contenues dans le post-test est un facteur qui réduit l'impact de la présence d'un feedback. Glenberg, Sanocki, Epstein et Morris (1987) puis Maki et Serra (1992) manipulent le degré de similarité entre les questions insérées et les questions d'évaluation du post-test. La précision de l'évaluation des performances à venir est réduite lorsque les questions diffèrent, les lecteurs ne pouvant générer un feedback approprié pour améliorer leur niveau de calibration concernant le post-test. Les apprenants ont une calibration correcte uniquement lorsque les questions insérées sont identiques aux questions incluses dans le post-test.

Dunlosky, Rawson et Middleton (2005) s'intéressent plus précisément à la relation entre le jugement émis sur les performances à venir et la qualité des performances effectives. Ils demandent aux participants de lire six textes comprenant chacun quatre termes-clefs et leur

définition. A la fin de chaque texte, il est demandé aux apprenants d'essayer de rappeler la définition de chaque terme-clef, soit en auto-évaluant cette première performance, soit sans auto-évaluer cette première performance. Puis, tous réalisent une prédiction de leur performance à venir à la prochaine épreuve de rappel et réalisent effectivement une nouvelle épreuve de rappel des définitions. Il est observé, d'une part, que lorsque les participants génèrent un feedback concernant leur première performance, l'évaluation de leur performance à l'épreuve à venir est plus ajustée, et d'autre part, les participants qui fournissent au premier rappel une / des définitions en partie ou entièrement erronée(s) sans auto-évaluer leur performance surestiment leur performance à venir. Ceci laisserait à penser que les apprenants, lorsqu'ils estiment leur niveau de connaissances, sont induits en erreur par le fait de pouvoir rappeler « vaguement » quelques informations. Ils confondent donc « jugement de savoir » (*judgment of knowing*) qui renverrait au fait de déterminer si ce qui a été lu est compris ou non, et « impression de savoir » (*feeling of knowing*) qui renverrait au fait d'avoir conscience d'avoir lu l'information mais ne pas pouvoir la rappeler exactement.

Dans ces études concernant l'effet d'un feedback sur la calibration, les auteurs n'ont pas porté intérêt aux comportements de lecture des apprenants face à ce feedback. Il serait à supposer que lorsque l'environnement d'apprentissage offre un haut niveau de contrôle de la consultation, la présence d'un feedback explicite ou généré entraînerait d'autant plus la mise en place de nouvelles stratégies de consultation de type « recherche d'informations » ou « relecture ». Cependant, contre toute attente, il n'apparaît pas d'interaction entre l'attribution d'un feedback à l'apprenant lors de l'épisode d'apprentissage et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage. Ainsi, Corbalan, Kester et van Merriëboer (2009) examinent l'interaction entre le niveau de contrôle de l'apprenant sur son apprentissage et la présence d'un feedback sur la résolution d'exercices dans un environnement d'apprentissage. La moitié des apprenants décident des exercices à réaliser durant l'épisode d'apprentissage, et pour l'autre moitié, le système décide à leur place. Concernant ces exercices, soit les apprenants obtiennent un feedback portant sur leurs performances, feedback décrivant la réponse correcte aux étapes auxquelles l'apprenant a échoué, soit les apprenants n'obtiennent aucun feedback sur leurs performances. Si la présence d'un feedback améliore l'efficacité des apprenants dans une tâche de transfert, le niveau de contrôle de l'apprenant n'a en revanche pas d'incidence sur l'efficacité des apprenants (efficacité de formule : $z \text{ performance} - z \text{ effort mental} / \sqrt{2}$). En conséquence, les auteurs n'observent pas d'interaction entre les deux facteurs. Ce dernier résultat est à mettre en lien notamment avec le fait que même si les apprenants ont échoué à un exercice et obtiennent un feedback sur cet échec, ils n'utilisent pas

les possibilités de contrôle de l'épisode d'apprentissage pour revenir sur les informations pertinentes pour améliorer leur compréhension.

L'attribution d'un feedback pendant l'épisode d'apprentissage permet, sous certaines conditions, de réduire l'écart des apprenants entre la représentation qu'ils ont de leur état de connaissance, *i. e.* leur métacompréhension, et leur état de connaissances réel, évalué dans un post-test de connaissances. Cependant, si le feedback établit clairement les erreurs commises par les apprenants et en donne une correction explicite, même si l'environnement d'apprentissage offre un certain contrôle aux apprenants sur leur épisode d'apprentissage, ceux-ci ne mettraient pas en place de comportements de navigation pertinents afin de remédier à cette difficulté de compréhension.

2 Hypothèses

De façon générale, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine éprouvent des difficultés à évaluer leur état de connaissances actuel et montrent une tendance à surestimer leur niveau de compréhension des informations contenues dans l'environnement d'apprentissage. Ce phénomène d'« illusion de savoir » peut être réduit par la présence d'un feedback attribué durant l'épisode d'apprentissage, à condition que celui-ci encourage la mise en place de comportements de navigation pertinents.

Cependant, les études décrites ci-dessus concernent presque exclusivement des environnements d'apprentissage dont l'objectif est l'acquisition de procédures (procédures mathématiques, procédure de détermination d'un profil génétique). Peu d'études, à notre connaissance, portent sur l'effet de la présence d'un feedback sur les performances de compréhension lors d'un apprentissage hypermédia de type « lecture-compréhension ». Cette étude a donc pour objectif d'observer si la présence d'un feedback lors d'un épisode d'apprentissage hypermédia réduirait l'erreur de métacompréhension des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine, erreur supposée dans l'étude 2.

Donc d'une part, il est attendu de répliquer les résultats antérieurement établis concernant le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et ses effets sur les performances d'apprentissage, le repérage de la structure et la mise en place de plus de comportements de révision. De plus, les hypothèses suivantes sont émises :

H1 : L'attribution d'un feedback durant l'épisode d'apprentissage devrait permettre aux apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine d'objectiver leur métacompréhension. Ainsi, il est supposé que les apprenants qui n'obtiendraient pas un feedback satisfaisant mettraient en place plus de comportements de révision afin de pallier aux lacunes d'apprentissage mises en saillance. Etant donné que le contrôle limité de l'épisode d'apprentissage induit chez les apprenants la mise en place de plus de comportements de révision, l'hypothèse est faite d'une interaction entre les facteurs « présence d'un feedback » et « niveau de contrôle » de l'épisode d'apprentissage.

H2 : S'il est avéré qu'il existe une interaction entre la présence d'un feedback et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage sur les comportements de révision, l'hypothèse est alors faite d'une interaction entre ces deux facteurs concernant les performances de rappel de la structure et les performances aux questions de type « inférence », les apprenants en condition de « contrôle limité et présence d'un feedback » obtenant de meilleurs scores par rapport aux autres apprenants.

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Soixante-quatorze étudiants en deuxième année de psychologie à l'Université Rennes II, 10 garçons et 64 filles, participent à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 20.8 ans ($SD = 2.01$). Dans le cadre des TD de Psychologie cognitive, les étudiants de Licence 2 se voient proposer la possibilité de découvrir le fonctionnement des laboratoires de recherches en participant à des expériences ; la participation de ces étudiants est donc considérée comme étant volontaire.

Concernant les apprenants, deux précautions sont prises :

- Aucun des participants à cette expérience n'a pris part auparavant à une expérience portant sur le thème de la perception des couleurs,
- Les participants ont réalisé leur année de Licence 1 à l'Université Rennes2, et ont suivi l'année précédente les cours magistraux de Psychologie Générale concernant la vision.

Seules les données des participants ne disposant pas / de peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage sont prises en compte dans les analyses statistiques. Aussi, les

données des participants obtenant 50% ou plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire ne sont pas conservées.

3.2 Matériel expérimental

L'environnement servant de support d'apprentissage est identique à celui utilisé dans l'étude 2, à savoir un document hypermédia portant sur la perception des couleurs, composé de 22 pages comprenant des informations orales et des informations écrites synthétisant les informations orales, des illustrations et / ou des graphiques, et une première page de consigne. Comme dans l'expérience précédente, le matériel est présenté sous deux formats qui se distinguent par le niveau de contrôle offert : un format dit « contrôle libre » dans lequel l'apprenant peut librement utiliser les fonctions de navigation présentes dans l'interface, et un format dit « contrôle limité », dans lequel l'apprenant n'est libre de son utilisation de l'environnement hypermédia qu'une fois le document consulté dans son entier.

Pour la moitié des apprenants, un signet nommé « Quelques questions de connaissances » est ajouté en fin de sommaire pour leur signaler la présence d'un QCM dans l'environnement d'apprentissage. Celui-ci est composé de 10 items différant de ceux utilisés dans le pré-questionnaire et le post-questionnaire de connaissances (cf. Annexe 9). Ces items sont de type « paraphrase » car leur réponse est explicite dans le document. Quatre possibilités de réponses sont offertes à l'apprenant dont la possibilité de répondre « je ne sais pas » pour distinguer les erreurs d'apprentissage des lacunes d'apprentissage. Pour chacune des questions, une seule des réponses proposées est correcte. Après chaque réponse, l'apprenant prend connaissance de l'exactitude ou non de sa réponse par un feedback de type « réponse correcte » ou « réponse incorrecte » (cf. Figure 16). En cas de réponse erronée ou d'absence de réponse, la réponse exacte à la question n'est pas communiquée à l'apprenant. Ne pas préciser la réponse correcte à la question devrait susciter chez l'apprenant des comportements de révision des informations relatives à la question donnée. Une fois les 10 questions complétées, l'apprenant obtient un feedback concernant son score total au QCM (cf. Figure 16).

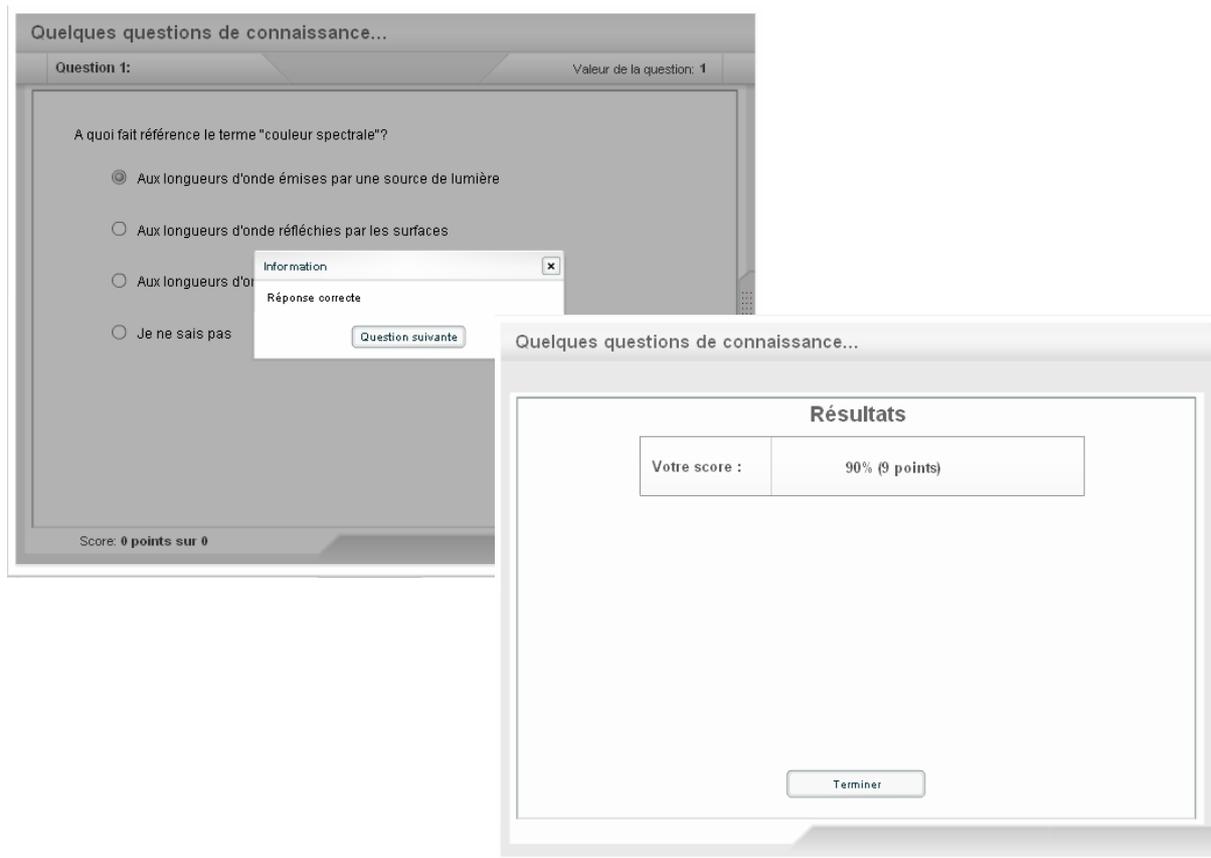


Figure 16: Feedback concernant l'exactitude de la réponse et feedback final concernant le score au QCM

En condition de « contrôle libre », les apprenants ont possibilité de réaliser le questionnaire autant de fois qu'ils le souhaitent, au moment où ils le souhaitent. En condition de « contrôle limité », les apprenants ne peuvent réaliser ce questionnaire qu'après avoir consulté une fois le document dans son ensemble. Une fois cette condition remplie, les apprenants peuvent réaliser le questionnaire autant de fois qu'ils estiment nécessaire. Une fois le QCM complété, les apprenants sont libres de revoir autant de nœuds d'informations qu'ils le souhaitent ou de clôturer l'épisode d'apprentissage.

Pour tous, l'objectif d'apprentissage signalé est le même, à savoir apprendre autant d'informations que possible concernant la perception des couleurs afin de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances après la consultation du document.

Ainsi, dans cette expérience, le plan d'expérience est un plan 2 (niveau de contrôle)*2(feedback) dans lequel sont répartis aléatoirement les apprenants.

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine

A l'instar des expériences 1 et 2, le niveau de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage est évalué par 6 questions ouvertes concernant le fonctionnement de la vision et la perception des couleurs, et d'un schéma de l'œil à compléter. A chaque bonne réponse et légende correcte, l'apprenant se voit attribuer 1 point. En cas d'erreur ou de non réponse, l'apprenant ne se voit pas attribuer de point.

3.3.b Métacompréhension

Au cours de l'expérience, deux mesures de la métacompréhension des apprenants sont réalisées : avant la consultation du document et juste après la consultation du document. Les mêmes items sont donc utilisés dans ces deux évaluations (pour la totalité des items, cf. Annexe 10). Les items d'évaluation de la métacompréhension font référence à la qualité de la représentation du domaine d'apprentissage que pense avoir l'apprenant. Ces items renvoient donc à des notions de mémorisation des informations contenues dans le document, de compréhension de ces informations et au possible transfert de ces connaissances.

Tableau 11: Exemples d'items permettant d'évaluer la métacompréhension des apprenants

Pré-consultation	<i>J'estime avoir une bonne représentation du domaine de « la perception des couleurs ».</i>
Post-consultation	<i>J'estime avoir acquis une bonne représentation du domaine de « la perception des couleurs ».</i>

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. Les apprenants doivent se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20. Les valeurs des Alpha de Crombach sont de $\alpha = .76$ avant la consultation et $\alpha = .783$ en post-consultation.

3.3.c Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Ce questionnaire subjectif est identique au questionnaire subjectif utilisé dans les deux premières expériences. Il comprend donc deux facteurs : un facteur de contrôle perçu, dont chacun des items renvoie soit au contrôle du séquençage, au contrôle du rythme du document ou au contrôle du contenu, et un facteur de charge cognitive perçue, qui renvoie à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant pense avoir fourni pour comprendre l'information et du degré de difficulté ressenti par l'apprenant lors de la manipulation de l'environnement..

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. Les apprenants doivent se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.d Performances d'apprentissage

Le questionnaire de connaissances administré en fin de passation est identique à celui utilisé dans les expériences 1 et 2, et comprend donc au total 14 questions de type « questions ouvertes », dont 7 questions de paraphrase, pour évaluer la mémorisation des informations contenues dans le document, et 7 questions d'inférence qui visent à évaluer la compréhension des informations.

Le questionnaire est corrigé en aveugle par un seul correcteur. Chaque question est notée sur 1 point. Aucun point n'est accordé pour une réponse manquante, incomplète ou erronée.

3.3.e Epreuve de rappel de la structure du document

Les apprenants complètent une épreuve de rappel de la structure du document hypermédia identique à celle utilisée dans la seconde expérience. La consigne est de rappeler les titres des pages qui composent le document, en respectant la hiérarchie présente dans le sommaire de l'environnement hypermédia.

Lors de la correction de l'épreuve, 1 point est accordé pour un titre correctement replacé dans la hiérarchie du sommaire, et cela même si le titre est rappelé « approximativement ». Lorsque le titre donné n'est pas représentatif de la page ou lorsque le titre n'est pas restitué correctement dans la hiérarchie, aucun point n'est attribué.

3.3.f Indices de navigation

Lors de la consultation du document, toute activité des apprenants à l'écran est enregistrée grâce au logiciel CamStudio. Ainsi, pour chaque participant sont comptabilisés :

- le nombre total de comportements de consultation, *i. e.* le nombre d'utilisations faites des fonctions de navigation jusqu'à une première consultation du document en son entier,
- le nombre total de comportements de révision, *i. e.* le nombre d'utilisations faites des fonctions de navigation pour consulter à nouveau un / des nœuds d'informations après une première consultation du document en son entier.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle découpée en quatre box, chaque box étant équipé d'un écran 17 pouces, d'une souris et d'un casque audio. Dans un premier temps, les participants répondent à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à leur âge, leur genre, leur baccalauréat et leur cursus universitaire antérieur éventuel.

Les apprenants évaluent ensuite dans un questionnaire leur métacompréhension du domaine d'apprentissage puis complètent le pré-questionnaire de connaissance dans le domaine de la perception visuelle. Une fois que les apprenants commencent à remplir le pré-questionnaire de connaissances, ils ne peuvent revenir sur leurs réponses au questionnaire d'évaluation de la métacompréhension. Suite à ces questionnaires, les apprenants consultent le document suivant la consigne qui leur est donnée en première page.

Une fois qu'ils estiment avoir terminé leur consultation du document, ils ferment seuls le document. Leur sont alors distribués dans l'ordre le questionnaire subjectif de ressenti vis-à-vis de l'apprentissage, questionnaire auquel sont intégrés les items d'évaluation de la métacompréhension, le questionnaire de connaissances puis l'épreuve de rappel de la structure du document.

4 Résultats

Etant donné que 6 des participants disposent de plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire, seules les données de 68 participants sont prises en compte dans les analyses statistiques suivantes.

4.1 Analyse des performances d'apprentissage

Etant donné que le test d'homocédasticité de Levene ne révèle pas une hétérogénéité significative des variances des scores au post-test de connaissances, $F < 1$ concernant chacun des scores, une analyse de variance multiple est conduite.

Il apparaît un effet principal du type de contrôle sur le score aux questions d'inférence et le rappel de la structure, respectivement : $F(3, 64) = 7.778$, $MSE = 1.482$, $p = .007$; $F(3, 64) = 6.914$, $MSE = 4.439$, $p = .01$, mais le type de contrôle n'a pas d'effet principal sur le score aux questions de paraphrase : $F(3, 64) = 1.868$, $MSE = 1.194$, $p = NS$. Les apprenants en condition de « contrôle limité » ont des performances de compréhension et de rappel de la structure significativement meilleures que les apprenants en condition de « contrôle libre ».

Il n'y a aucun effet principal de la présence du feedback, ni sur le score aux questions de paraphrase et d'inférence, respectivement $F(3, 64) = 2.307$, $p = NS$ et $F(3, 64) = 2.354$, $p = NS$, ni sur le rappel de la structure, $F(3, 64) = 1.055$, $p = NS$.

Tableau 12: Performances au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert et la présence (avec FB) / absence de feedback (sans FB)

Conditions		N	Paraphrase		Inférence		Rappel structure	
			M	SD	M	SD	M	SD
Contrôle libre	Sans FB	19	3.42	1.17	2.16	1.21	2.95	2.02
	Avec FB	16	3.69	1.08	2.69	1.2	3.31	2.12
Contrôle limité	Sans FB	17	3.65	.93	3.06	1.35	4.29	3.04
	Avec FB	16	4.19	1.17	3.44	1.09	5.19	2.81

Notes : Le score maximum est de 7 pour les questions de paraphrase et d'inférence, de 22 pour l'épreuve de rappel.

Ainsi, contrairement à nos attentes, il n'est pas observé d'effet d'interaction entre le niveau de contrôle offert aux apprenants et la présence de feedback sur aucune de ces trois performances d'apprentissage, avec à chaque fois $F < 1$.

4.2 Analyses du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Le test d'homocédasticité de Levene indique que les variances des scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage sont homogènes, $F < 1$ concernant chacun des scores. Une analyse de variance multiple est donc réalisée.

Un effet principal du niveau de contrôle offert est observé à la fois sur la charge cognitive perçue, $F(3, 64) = 3.924$, $MSE = 6.078$, $p = .042$, et sur le contrôle perçu, $F(3, 64) = 7.774$, $MSE = 4.482$, $p = .007$. Les apprenants en condition de « contrôle limité » expriment une charge cognitive moindre et un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage plus important par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ».

Concernant la présence d'un feedback, il n'y a aucun effet principal, ni sur la charge cognitive perçue ($F < 1$) ni sur le contrôle exprimé par les apprenants ($F < 1$).

Tableau 13: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de contrôle offert et la présence / absence de feedback

Conditions	N	Charge cognitive perçue		Contrôle perçu		
		M	SD	M	SD	
Contrôle libre	Sans FB	19	12.24	2.98	12.67	2.44
	Avec FB	16	12.56	2.71	13.45	2.19
Contrôle limité	Sans FB	17	11.15	2.17	14.72	2.48
	Avec FB	16	10.94	2.16	14.57	2.22

Note : Le score maximal est de 20 pour chacun des facteurs.

Ainsi, il n'apparaît pas d'interaction entre nos facteurs « niveau de contrôle » et « feedback » relativement à la charge cognitive perçue ($F < 1$) et au contrôle perçu de l'épisode d'apprentissage ($F < 1$).

4.3 Analyses des questionnaires de métacompréhension

Avant de débiter l'analyse des scores de métacompréhension, le soin est pris de vérifier que les variances de ces scores sont homogènes, $F < 1$ concernant les scores au pré-questionnaire et post-questionnaire.

Avant la consultation du document hypermédia, les scores des apprenants au pré-questionnaire de métacompréhension ne se différencient pas significativement, $F < 1$.

Il apparaît un effet principal du type de contrôle offert sur la métacompréhension post-consultation, $F(3, 64) = 7.99$, $MSE = 4.309$, $p = .006$: les apprenants en condition de « contrôle limité » ont une métacompréhension évaluée plus positive que les apprenants en condition de « contrôle libre ». La présence d'un feed-back n'a quant à elle pas d'effet principal sur la métacompréhension post-consultation, $F < 1$.

Tableau 14: Evaluation subjective de la métacompréhension des apprenants pré-consultation et post-consultation

Conditions		N	Métacompréhension pré-consultation		Métacompréhension post-consultation	
			M	SD	M	SD
Contrôle libre	Sans FB	19	7.67	2.29	13.46	1.91
	Avec FB	16	7.06	2.89	13.61	1.99
Contrôle limité	Sans FB	17	7.51	2.78	15.47	2.27
	Avec FB	16	7.69	2.91	14.45	2.13

Note : Le score maximum est de 20 pour chaque facteur.

L'analyse d'un effet d'interaction entre nos deux facteurs sur le score au post-questionnaire de métacompréhension est non significative, $F(3, 64) = 1.33$, $p = NS$.

Concernant les évaluations subjectives de la métacompréhension faites par les apprenants en condition de « contrôle libre », il est à noter une absence de corrélation entre la première évaluation et le score au pré-questionnaire de connaissance, et entre la seconde évaluation et les scores au post-questionnaire de connaissances (cf. Tableau 15). Il existe donc un écart entre la métacompréhension des apprenants et leurs performances réelles aux -

questionnaires de connaissances. En condition de « contrôle limité », il semble donc que les apprenants soient mauvais juges de leur état de connaissances initial et post-apprentissage. Par contre, il existe une corrélation significative positive entre la première évaluation de la métacompréhension et la seconde évaluation ($r = .515$), ce qui signifie que les apprenants qui estiment avoir une bonne représentation du domaine avant l'épisode d'apprentissage sont aussi ceux qui estiment avoir une bonne représentation après l'apprentissage hypermédia, et inversement. Aussi, étant donné la corrélation négative entre la première évaluation de la métacompréhension et les performances au post-test de connaissances ($r = .515$), il est à supposer que les apprenants se basent sur leur métacompréhension pré-consultation erronée pour clôturer leur épisode d'apprentissage.

Tableau 15: Corrélations entre les mesures subjectives de la métacompréhension et les performances aux mesures objectives de connaissances en condition de « contrôle libre »

	Méta1	Méta2	Pré-connaissances	Paraphrase	Inférence
Méta1					
Méta2	.515**				
Pré-connaissances	.127	.119			
Paraphrase	-.465*	-.09	.035		
Inférence	-.54*	-.118	.128	.688**	

Notes : $N = 35$; * la corrélation est significative au niveau .05 ; ** la corrélation est significative au niveau .01

Comme pour les apprenants en condition de « contrôle libre », la première évaluation de la métacompréhension des apprenants en condition de « contrôle limité » n'est pas corrélée à leurs performances au pré-questionnaire de connaissances (cf. Tableau 16). Cependant, il apparaît une corrélation positive entre la seconde évaluation de la métacompréhension et les performances d'apprentissage obtenues au post-questionnaire de connaissances ($r = .404$ pour les questions de paraphrase et $r = .386$ pour les questions d'inférence). Ce résultat signifierait que lorsque le contrôle du séquençage est limité, les apprenants ont une estimation de leur état de connaissances à la fin de l'épisode d'apprentissage relativement proche de la réalité.

Tableau 16: Corrélation entre les mesures subjectives de la métacompréhension et les performances aux mesures objectives de connaissances en condition de « contrôle limité »

	Méta1	Méta2	Pré-connaissances	Paraphrase	Inférence
Méta1					
Méta2	.133				
Pré-connaissances	.147	.112			
Paraphrase	.235	.404*	.083		
Inférence	.209	.386*	.154	.702**	

Notes : $N = 33$; * la corrélation est significative au niveau .05 ; ** la corrélation est significative au niveau .01

4.4 Analyses de régression concernant les performances de compréhension

Afin de déterminer les facteurs influençant les performances de compréhension, des analyses de régression multiple et simple sont réalisées (cf. Tableau 17). Il est à noter que dans ces analyses, le score au QCM intégré est considéré comme étant une variable pouvant expliquer le nombre moyen de comportements de révision mis en place : concernant le score moyen au QCM des apprenants en condition de « contrôle libre », $M = 8.02$, $SD = 1.4$; pour les apprenants en condition de contrôle limité, $M = 8.5$, $SD = 1.2$. Le test d'homocédasticité de Levene indique des variances homogènes des scores au QCM, $F < 1$, et l'analyse de variance ne met en avant aucune différence significative entre les deux groupes sur ce score, $F(1, 31) = 1.22$, $MSE = 1.06$, $p = NS$.

Tableau 17: Analyses de régression multiple concernant le score de compréhension et de régression simple concernant les comportements de révision, indépendamment du niveau de contrôle

	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>B</i>	β
<i>Inférence</i>	68	.615	.494		
Comportements de navigation				-.109*	-.33
Comportements de révision				.293**	.47
<i>Comportements de révision</i>	32	.408	.192		
Score au QCM				-.777	-.294

Notes : r^2 est ajusté ; * $p < .05$; ** $p \leq .001$

Le nombre moyen de comportements de navigation et le nombre moyen de comportements de révision n'expliquent globalement que 49% des variations du score de compréhension. Ces comportements sont significativement liés à la performance aux questions d'inférence, respectivement $t = -1.088$, $p = .046$ et $t = 3.586$, $p = .001$. De ces deux facteurs, le nombre moyen de comportements de révision serait cependant le plus discriminant ($\beta = .47$).

Concernant le nombre de comportements de révision présentés par les apprenants en condition de « présence d'un feedback », seuls 19% des variations de ces comportements seraient expliqués par le score au QCM intégré. Qui plus est, cette relation n'est pas significative ($t = 1.07$, $p = \text{NS}$).

5 Conclusion

Dans une tâche de lecture-compréhension, tous les apprenants ont pour objectif de se créer un modèle de situation cohérent et aussi complet que possible. Or, dans les expériences précédentes, il a été observé que certains apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine quittaient prématurément l'épisode d'apprentissage au regard des performances de compréhension obtenues. Il était supposé un écart pour ces apprenants entre ce qu'ils pensaient connaître et ce qu'ils connaissaient réellement, autrement dit, une métacompréhension erronée. L'hypothèse était faite que d'insérer un feedback dans

l'environnement hypermédia pourrait permettre aux apprenants de constater les lacunes dans leur modèle de situation et en conséquence, de mettre en place des comportements de navigation permettant de remédier à ces lacunes, d'autant plus lorsque le contrôle de l'environnement d'apprentissage est limité.

Si les résultats de l'étude 2 sont répliqués concernant un effet bénéfique du séquençage contraint sur les performances d'apprentissage et les comportements de navigation, cependant, les résultats obtenus vont à l'encontre des hypothèses émises sur une possible interaction avec la présence d'un feedback (**H1** et **H2**). En effet, concernant les performances d'apprentissage, il apparaît un effet principal du niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage mais pas d'effet de la présence du feedback ni d'interaction entre les deux facteurs. A l'instar de l'étude 2, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables en condition de « contrôle limité » réalisent une meilleure performance aux questions d'inférence et à l'épreuve de rappel de la structure du document hypermédia par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». De même, le niveau de contrôle de l'épisode a un effet significatif sur le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, les apprenants ayant une charge cognitive perçue moindre et un contrôle perçu plus important en condition de « contrôle limité », tandis que la présence d'un feedback n'a aucun effet sur le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage.

Si les apprenants ne se différencient pas significativement avant la consultation sur leur niveau de métacompréhension, en revanche les apprenants en condition de « contrôle limité » évaluent plus positivement leur métacompréhension post-consultation. Concernant les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables en condition de « contrôle libre », les évaluations de la métacompréhension pré et post-consultation sont corrélées entre elles, et l'évaluation pré-consultation est corrélée négativement aux scores des questions de paraphrase et d'inférence. En condition de « contrôle libre », il apparaît pour les apprenants un phénomène d'« illusion de savoir » (Glenberg, Wilkinson & Epstein, 1982) : les apprenants se basent sur leur première évaluation erronée de leur état de connaissances pour clôturer l'épisode d'apprentissage, qu'il leur soit attribué un feedback ou non dans l'environnement d'apprentissage. Ce résultat est similaire à celui observé par Hacker, Bol, Horgan et Rakow (2000) pour qui les apprenants se basaient sur leurs jugements préalablement réalisés pour établir une évaluation de leur état de connaissances actuel. Par conséquent, les apprenants en condition de « contrôle libre » ne mettent pas en place de comportements de révision afin de pallier aux lacunes de leur modèle de situation.

Pour les apprenants en condition de « contrôle limité », l'évaluation post-consultation de la métacompréhension est (faiblement) corrélée aux scores de mémorisation et de compréhension. Les deux catégories d'apprenants ont obtenu moins de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire, mais lorsque le séquençage est contraint, les apprenants ont une perception plus juste de leur état de connaissances en post-consultation. Cette différence d'acuité dans l'évaluation de leur état de connaissances n'est donc pas due à la présence d'un feedback mais au niveau de contrôle du séquençage.

Les résultats de cette étude sont à considérer avec prudence, l'étude comportant quelques limites. En effet, concernant la présence du QCM dans l'environnement d'apprentissage et de son effet potentiel sur les stratégies de consultation, les questions utilisées sont relatives à la mémorisation des informations et non à leur compréhension. Or, dans l'étude 2, il n'apparaît pas d'effet du niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage sur les performances aux questions de type « paraphrase » mais uniquement sur les questions de type « inférence ». D'ailleurs, les apprenants ne se différencient pas significativement dans leur score au QCM selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage. Il serait donc nécessaire de répliquer cette étude en utilisant un matériel qui permettrait de formuler des questions d'inférence, notamment de type « inférence globale », dans le QCM inséré et dans le post-questionnaire de connaissances, afin de voir si celles-ci ont un effet sur la surveillance par les apprenants de leur compréhension, aussi bien à un niveau local que global, et sur la mise en place de comportements de révision. Cette suggestion pourrait être contestée sur la base d'études antérieures concernant l'apprentissage de textes linéaires telle que celle de Callender et McDaniel (2007). Ces derniers demandent aux apprenants, contrastés selon leur niveau de compréhension, de lire un texte comprenant soit des questions insérées de type « paraphrase », soit des questions insérées de type « inférence ». A la fin de la lecture, il est demandé aux apprenants de compléter un questionnaire de connaissances composé (1) de questions portant sur les réponses aux questions insérées, (2) de questions portant sur des informations liées à ces réponses et (3) de questions indépendantes des réponses aux questions insérées. Concernant les « mauvais compreneurs », les auteurs observent un effet positif des questions insérées de type « paraphrase » sur les deux premiers types d'interrogation, mais aucun effet des questions de type « inférence ». Cependant, dans l'étude de Callender et McDaniel, le document étudié est un texte linéaire dont la cohérence globale est assurée. Il est donc légitime de s'interroger sur le possible transfert de ces résultats à la lecture d'un document hypermédia dont la cohérence globale n'est assurée que par l'ordre de consultation

choisi par l'apprenant et par sa capacité à envisager les nœuds d'informations distincts en un « tout » cohérent.

De plus, il aurait été intéressant de mettre une nouvelle évaluation de la métacompréhension après que les apprenants aient rempli le pré-questionnaire de connaissances ou bien encore, leur donner un feedback concernant le pré-questionnaire de connaissances afin de savoir si cela aurait modifier l'impact de l'évaluation pré-consultation de la métacompréhension sur les comportements de navigation.

La capacité d'évaluer correctement son niveau de compréhension est l'une des capacités métacognitives des plus importantes car c'est en ayant correctement évalué son état de connaissances que l'apprenant pourra utiliser pertinemment d'autres composantes de la métacognition, telle que l'utilisation de stratégies. Si un apprenant n'était pas capable d'évaluer son état de connaissances avec précision, alors il ne mettrait pas en place de régulation comme de relire certains nœuds ou faire des inférences (Zabrucky, 2010). Donc l'explication de la différence de performances d'apprentissage selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage ne peut se résumer en une différence de processus cognitifs mis en place pour traiter l'information, mais plutôt en une différence de processus métacognitifs, les apprenants en condition de « contrôle limité » étant en position de mieux autoréguler leur épisode d'apprentissage par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». Pour vérifier cette hypothèse dans l'étude suivante, il est nécessaire d'utiliser des mesures on-line des traitements cognitifs et métacognitifs réalisés, telle que l'utilisation d'enregistrements des mouvements des yeux (Rouet & Passerault, 1999).

Expérience 4 : Apprentissage hypermédia, un apprentissage autorégulé : Enregistrement des mouvements des yeux et verbalisation différée de l'activité

Résumé :

Il apparaît que les apprenants disposant de peu de connaissances préalables en condition de « contrôle limité » mettent en place plus de comportements de révision et obtiennent de meilleures performances d'apprentissage qu'en condition de « contrôle libre ». De plus, ils réalisent une évaluation plus juste de leur état de connaissances à la fin de l'épisode d'apprentissage au regard de leurs performances au post-questionnaire de connaissances. Ces différences de comportements de navigation et de performances d'apprentissage sont attribuables au fait que les apprenants mettraient en place plus de processus d'autorégulation lorsque le contrôle du séquençage est limité. L'enregistrement des mouvements oculaires ainsi qu'un protocole verbal différé sont utilisés afin d'obtenir des données concernant l'activité métacognitive des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables, selon le niveau de contrôle de leur épisode d'apprentissage. Il est alors observé que les apprenants mettent en place significativement plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif lorsque le séquençage est contraint, et que ces processus métacognitifs permettent d'expliquer en partie leur utilisation de comportements de révision.

1 Introduction

La flexibilité de consultation qui caractérise les documents hypermédias n'est pas nécessairement bénéfique à la compréhension des informations. Ainsi, dans une méta-analyse de Chen et Rada (1996), huit études montrent une supériorité des hypertextes par rapport au texte traditionnel linéaire, alors que cinq études montrent exactement l'inverse. Lors d'un apprentissage hypermédia, de fréquents problèmes de désorientation ont été mis en évidence. Ces problèmes sont particulièrement saillants pour les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage. Ils sont notamment liés à la cohérence globale du texte qui peut être largement complexifiée par une consultation moins linéaire du texte. Les stratégies d'autorégulation ont donc une grande importance lors d'un apprentissage hypermédia.

1.1 Apprentissage hypermédia : un apprentissage autorégulé

Lorsqu'un individu se trouve face à un document d'apprentissage, il doit s'engager dans un processus actif pour établir des buts d'apprentissage, réguler ses efforts pour atteindre ces buts, contrôler sa cognition, et gérer son temps d'apprentissage, *i. e.* il doit autorégulé son apprentissage (Zimmerman & Risemberg, 1997). Cette activité de régulation demande de l'apprenant un ajustement continu de l'activité cognitive pendant l'épisode d'apprentissage (Chen, S., 2002).

Apprendre avec un document hypermédia requiert de l'apprenant qu'il régule son apprentissage, *i. e.* qu'il prenne des décisions sur ce qu'il doit apprendre, comment l'apprendre, combien de temps y accorder, comment accéder aux informations, déterminer s'il comprend l'information et quand abandonner ou modifier une stratégie (Azevedo, 2005 ; Azevedo & Cromley, 2004). Surtout, il doit analyser la situation d'apprentissage, établir des buts d'apprentissage pertinents, déterminer quelle stratégie utiliser, son efficacité pour atteindre le but et évaluer sa compréhension émergente du domaine d'apprentissage. Ces processus renvoient à l'aspect principal de l'autorégulation : la conscience et le contrôle de la cognition, appelé « métacognition ». La métacognition est sous-tendue par trois processus : la planification, la surveillance et les activités de régulation (Pintrich, 1995) ou utilisation de stratégies. La planification implique de déterminer des buts, en termes de nœuds à consulter et d'ordre de consultation, et en termes de résultats d'apprentissage. Lors d'un apprentissage autorégulé, l'apprenant détermine des performances à atteindre, et doit surveiller son avancée

vers ces objectifs, *i. e.* évaluer l'efficacité des stratégies d'apprentissage qu'il a mis en place. La régulation d'un épisode d'apprentissage comprend donc trois phases : (1) l'apprenant se construit une perception de la tâche, formule des buts d'apprentissage et planifie comment atteindre ces buts ; (2) l'apprenant applique des stratégies pour atteindre ces buts ; (3) s'il y a divergence entre les buts d'apprentissage et le niveau actuel de connaissances, l'apprenant régule son activité d'apprentissage en faisant des adaptations dans sa planification et / ou sa stratégie afin d'atteindre ces buts. Zimmerman (2002) modélise ainsi un apprentissage autorégulé comme un processus cyclique (cf. Figure 17).

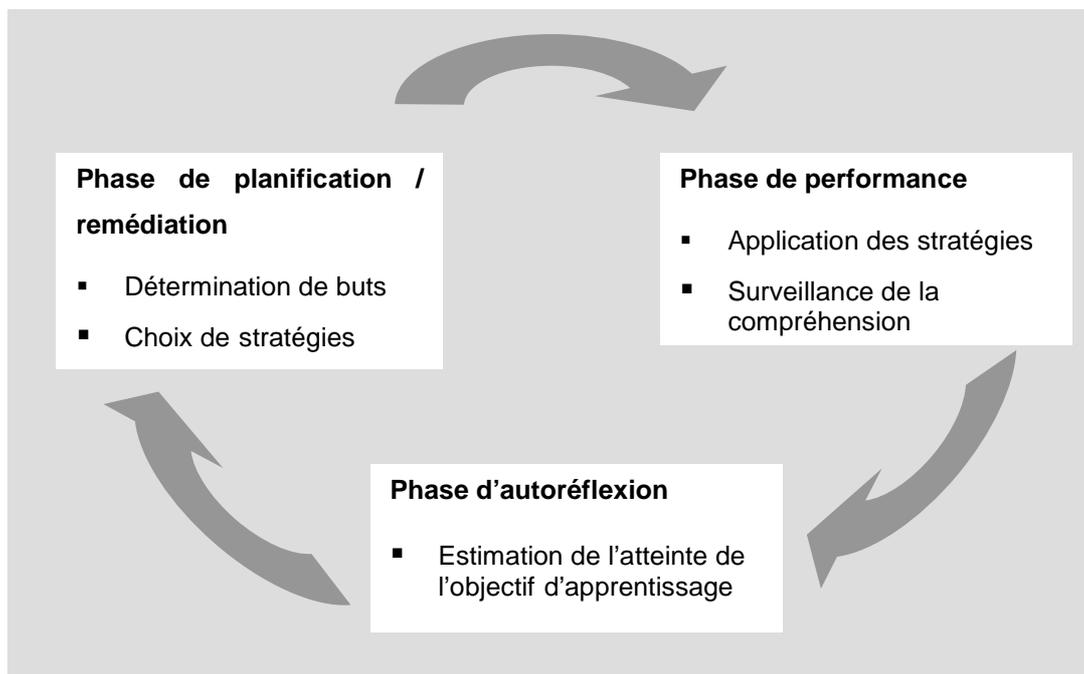


Figure 17: Modèle cyclique des processus cognitifs et métacognitifs impliqués dans un apprentissage autorégulé, d'après le modèle de Zimmerman (2002)

Dans une première phase de planification, l'apprenant sélectionne des stratégies d'apprentissage appropriées afin d'atteindre les buts d'apprentissage qu'il s'est fixé. S'en suit une phase de performance, durant laquelle l'apprenant applique les stratégies sélectionnées et surveille constamment sa performance à la tâche, *i. e.* sa compréhension. Dans une phase d'autoréflexion, l'apprenant évalue le produit de la phase de performance. La surveillance de la compréhension durant la phase de performance permet l'identification de lacunes de connaissances ou de difficultés de compréhension en phase d'autoréflexion. Si l'apprenant détecte de telles difficultés, il est amené à planifier des stratégies de remédiation pour

améliorer sa compréhension. La phase d'autoréflexion du premier cycle renvoie alors à la phase de planification d'un nouveau cycle.

Toute situation d'apprentissage nécessite de l'apprenant un engagement cognitif et métacognitif. Ceci est d'autant plus vrai dans les situations d'apprentissage autorégulé telles que les situations d'apprentissage hypermédias dans lesquelles l'apprenant est pourvu d'un haut niveau de contrôle sur son épisode d'apprentissage. Ainsi, McManus (2000) observe une interaction entre le niveau de non-linéarité d'un document hypermédia et le niveau d'autorégulation des apprenants, mesuré par le MSLQ (*Motivated Strategies for Learning Questionnaire*). Il apparaît dans son expérience que les apprenants ayant un bas niveau ou un niveau moyen d'autorégulation ont de meilleures performances d'apprentissage dans un document présentant un bas niveau de non-linéarité, *i. e.* l'apprenant dispose pour seul contrôle de son épisode d'apprentissage d'aller au nœud précédent et suivant, le séquençage étant contraint. A l'inverse, les apprenants ayant un niveau élevé d'autorégulation obtiennent de meilleures performances d'apprentissage lorsque le document offre plus de contrôle concernant le séquençage et le contenu à consulter. La demande d'autorégulation devient plus forte à mesure que le niveau de contrôle offert par l'environnement d'apprentissage est important.

1.2 Processus métacognitifs et performances d'apprentissage

A niveau de connaissances préalables dans le domaine équivalent, certains apprenants éprouvent des difficultés lors d'un apprentissage hypermédia, d'autres non. Ce qui les différencie tient selon certaines recherches à une différence d'efficacité des processus d'autorégulation utilisés pour contrôler le séquençage de l'épisode, contrôler les informations à consulter et le mode d'accès à ces informations (Azevedo & Cromley, 2004).

Ces recherches montrent que le potentiel des hypermédias comme outil d'apprentissage peut être réduit par l'incapacité des apprenants à réguler plusieurs aspects de leur apprentissage (Azevedo, 2005 ; Shapiro & Niederhauser, 04). De par la demande cognitive et métacognitive de ce type d'environnement, les hypermédias peuvent être inefficaces si l'apprenant ne régule pas son apprentissage. Scheiter, Gerjets, Vollmann et Catrambone (2009) mettent en évidence que les apprenants ayant des caractéristiques individuelles favorables, *i.e.* des connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage, de l'intérêt pour le thème du document et une plus grande utilisation déclarée de stratégies métacognitives, tendent à adopter des comportements de navigation plus adaptés, rapportent moins de charge cognitive liée à la

réalisation de la tâche d'apprentissage et résolvent plus de problèmes d'arithmétique que les apprenants ayant des caractéristiques moins favorables.

Selon Azevedo, Guthrie et Seibert (2004), les apprenants tendent à ne pas planifier, activer leurs connaissances préalables, utilisent rarement les processus de surveillance et utilisent des stratégies inefficaces. Dans leur expérience, les apprenants lisent un document portant sur le système circulatoire. Ceux qui ont le gain d'apprentissage le plus important sont ceux qui utilisent des stratégies efficaces (*processus d'utilisation de stratégies*), planifient leur apprentissage en déterminant des sous-buts et en activant leurs connaissances préalables, planifient leur temps et effort (*planification*) et surveillent leur compréhension (*surveillance de l'avancée vers l'objectif*). Greene et Azevedo (2007) observent que les performances d'apprentissage obtenues au post-test sont liées significativement aux processus d'auto-régulation mis en place par les adolescents participant à l'expérience, certains processus permettant d'obtenir un gain de compréhension plus important, tels que la coordination des sources d'informations, le sentiment de savoir (*processus de surveillance de l'avancée vers l'objectif*) et les inférences (*processus d'utilisation de stratégies*). Plus tard, Greene, Bolick et Robertson (2010) montrent que des lycéens ayant peu de connaissances dans le domaine d'apprentissage mettent majoritairement en place des processus d'utilisation de stratégies, de type « sélectionner une nouvelle source d'information » et « résumer », et finalement assez peu de processus « élaboration de connaissances » et « inférences ». Donc, non seulement ces apprenants planifient peu leur apprentissage et surveillent peu leur avancée vers l'objectif, mais ils utilisent des stratégies relativement peu pertinentes pour leur objectif général de compréhension des informations.

La réalisation d'une tâche d'apprentissage hypermédia demande donc de l'apprenant de mettre en place des processus métacognitifs de type « planification » et « surveillance de l'avancée vers l'objectif ». Cependant, il semblerait que les processus d'autorégulation mi en place soient guidés et contraints par des caractéristiques personnelles de l'apprenant et par des caractéristiques de l'environnement.

1.2.a Activité métacognitive et connaissances préalables dans le domaine

Quand les apprenants réalisent une tâche d'apprentissage pour laquelle ils ont peu de connaissances préalables, les capacités limitées de la mémoire de travail sont utilisées

prioritairement pour traiter l'information nouvelle, ce qui laisse peu voire insuffisamment de ressources cognitives pour la mise en place de processus d'autorégulation.. Ainsi, les apprenants ayant peu de connaissances préalables dans le domaine utiliseraient peu de processus de planification et de surveillance pendant l'apprentissage.

Ainsi, Moos et Azevedo (2008b) observent l'apprentissage hypermédias d'étudiants ayant des niveaux hétérogènes de connaissances préalables dans le domaine. Les protocoles verbaux utilisés montrent que les participants ayant des connaissances préalables dans le domaine tendent à utiliser plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif, tandis que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables utilisent en majorité des processus d'utilisation de stratégies spécifiques, de type « résumer » les informations ou « prendre des notes ». Pour les auteurs, les apprenants ayant des connaissances préalables ont une base de connaissances suffisamment bien interconnectée pour s'engager dans une consultation de type « vérification de connaissances » dans laquelle ils régulent leur apprentissage en activant leurs connaissances préalables puis à comparer leur état de connaissances avec les informations fournies par l'environnement hypermédia. Ces apprenants n'utiliseraient de stratégies que lorsqu'il y aurait divergence entre leurs connaissances actuelles et les informations présentées dans le document. Les apprenants ayant peu de connaissances préalables s'engageraient dans une consultation de type « acquisition de connaissances ». Les auteurs suggèrent alors que les apprenants ayant peu de connaissances préalables ont moins d'espace en mémoire de travail pour des processus d'autorégulation de haute qualité et préfèrent plutôt focaliser leurs capacités limitées sur l'acquisition de connaissances plutôt que sur des processus d'intégration ou de vérification. Ils utiliseraient donc plus de processus métacognitifs de type « utilisation de stratégies ». Récemment, Greene, Costa, Robertson, Pan et Deekens (2010) ont testé cette relation causale entre les connaissances préalables dans le domaine et les performances d'apprentissage, relation médiatisée par l'utilisation de processus d'autorégulation, mais ont échoué à montrer un impact des connaissances préalables dans le domaine sur les processus d'autorégulation. En revanche, il apparaît une relation significative positive entre le nombre de processus mis en place et les performances d'apprentissage.

Ces recherches suggèrent que les connaissances préalables dans le domaine ont une relation sur la qualité et la quantité des processus d'autorégulation mis en place pendant un apprentissage hypermédia. D'autres suggèrent qu'il est possible d'encourager les apprenants

pendant l'épisode d'apprentissage ou de les entraîner avant la consultation à mettre en place des processus métacognitifs pertinents pour l'apprentissage.

1.2.b Apprentissage hypermédia et soutien à la métacognition

Un moyen d'augmenter le nombre de processus métacognitifs mis en place par les apprenants pourrait passer par l'utilisation de différentes aides contextuelles intégrées au document hypermédia ou à un tuteur humain qui fournirait un soutien adapté pour augmenter l'autorégulation de l'apprenant.

Dans leur expérience, Azevedo, Cromley, Winters, Moos et Greene (2005) examinent l'efficacité de deux formes de soutien pour l'apprentissage d'un document hypermédia concernant le système circulatoire : (1) un soutien adaptatif qui consiste à permettre à l'apprenant d'avoir accès à un tuteur humain pendant l'épisode d'apprentissage, tuteur qui fournirait un soutien à l'apprentissage en les aidant à appliquer différents processus d'autorégulation ; (2) un soutien fixe qui renvoie à la présence dans le document de dix questions concernant le domaine d'apprentissage, conçues afin d'approfondir la qualité du modèle de situation des apprenants. Dans une troisième condition, les apprenants ne disposent d'aucun soutien à la métacognition. Les apprenants en condition de « soutien adaptatif » montrent plus de changements dans le modèle mental de départ, et ils régulent leur apprentissage en mettant en place plus de processus de planification et d'activation de connaissances préalables, en surveillant leur activité cognitive et leur progression vers le but, et en utilisant plusieurs stratégies efficaces. Par la suite, Azevedo, Moos, Greene, Winters et Cromley (2008) observent l'apprentissage d'adolescents ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine d'apprentissage. Le pré-test et le post-test de connaissances sont identiques, à savoir une tâche de liaison de termes à leur définition, une tâche de complétement d'un schéma, et la rédaction d'un essai. Lorsque les apprenants disposent d'un soutien extérieur à l'autorégulation, leur compréhension du fonctionnement du système circulatoire augmente. Les apprenants déploient des processus d'autorégulation qui semblent améliorer la qualité du modèle mental : ils régulent leur apprentissage en activant leurs connaissances préalables, en surveillant leur cognition et en surveillant leur progression vers le but. Moos et Azevedo (2008a) observent eux aussi une augmentation du nombre de processus de planification et de surveillance lorsqu'un soutien conceptuel est fourni aux apprenants, ce soutien consistant en la présence de cinq questions insérées dans le document afin d'approfondir la compréhension conceptuelle du système circulatoire.

L'intérêt de Bannert, Hildebrand et Mengelkamp (2009) ne se portent pas sur un soutien à la métacognition fourni durant l'apprentissage mais à un entraînement réalisé avant l'épisode d'apprentissage. Ils comparent les performances d'un groupe instruit sur pourquoi et comment utiliser les activités métacognitives, et un groupe contrôle ne recevant pas ce même épisode d'instruction. Les lecteurs consultent un même document hypermédia portant sur « les théories psychologiques relatives à l'utilisation d'images dans les documents multimédias », avec pour objectif d'être capables de pouvoir expliquer les théories et concepts présentés à d'autres étudiants. Suite à la consultation, ils réalisent une épreuve de rappel d'un maximum de concepts, répondent à un QCM et doivent fournir des recommandations de conception de documents pédagogiques concernant des cas décrits. Les apprenants ayant suivi un épisode d'instruction sur les activités métacognitives rapportent dans un questionnaire subjectif une activité métacognitive plus importante, et ont de meilleures performances à l'épreuve de transfert de connaissances.

Ces résultats illustrent le fait qu'un document hypermédia peut être utilisé pour améliorer la compréhension des apprenants n'ayant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine, à la condition qu'il leur soit fourni un soutien pour l'autorégulation. Le rôle de ce soutien serait alors de promouvoir ou de faciliter l'utilisation de processus métacognitifs pertinents, tels que des processus de « planification » et de « surveillance de l'avancée vers l'objectif », et d'orienter leur choix vers des stratégies plus pertinentes de type « relire » ou « faire des inférences ».

2 Hypothèses

Lors de la consultation d'un document hypermédia, la liberté de décision laissée à l'apprenant peut le conduire à la désorientation, incluant une confusion quant aux moyens de navigation à utiliser et une difficulté à déterminer et suivre un parcours pertinent à travers les nœuds. Certaines recherches suggèrent que les apprenants qui mettent en place des processus métacognitifs sont plus à même d'éviter la désorientation et la surcharge cognitive améliorant ainsi leurs performances d'apprentissage. En mettant en place des processus métacognitifs, les apprenants sont plus à même de porter leur attention sur l'efficacité / inefficacité de leur stratégie d'apprentissage et sur leur état de connaissance concernant le domaine d'apprentissage. Les recherches actuelles mettent en évidence que les apprenants les plus performants sont ceux qui adoptent un apprentissage autorégulé, exerçant un contrôle sur leur

environnement d'apprentissage afin d'atteindre leur objectif(s) et mettre en place une stratégie d'apprentissage et la modifier s'ils observent un écart entre les performances atteintes et les objectifs auparavant fixés.

Dans cette étude, sont utilisés un protocole d'enregistrement des mouvements oculaires et un protocole verbal différé afin d'obtenir des données relatives à la métacognition des apprenants lors d'un apprentissage hypermédia. En plus de confirmer les résultats précédemment obtenus dans l'expérience 2 et 3 concernant l'effet de la contrainte temporaire du séquençage, les hypothèses suivantes sont faites :

H1 : Les apprenants n'ayant pas / peu de connaissances préalables en condition de « contrôle limité » ont une métacompréhension plus proche de leur état de connaissances réel (cf. Expérience 3). Or, l'évaluation de l'avancée de la compréhension au cours de l'épisode d'apprentissage est essentielle pour réguler l'apprentissage. Il est donc supposé que la contrainte temporaire de séquençage amène l'apprenant à mettre en place plus d'activités métacognitives de type « planification » et « surveillance de l'avancée vers l'objectif » par rapport à une situation de « contrôle libre ».

H2 : Il est supposé que les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent de meilleures performances aux questions d'inférence de niveau global par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». L'hypothèse est posée qu'il existe une relation entre les activités métacognitives mises en place par l'apprenant et leurs performances de compréhension à un niveau global, relation médiatisée par la mise en place de comportements de consultation de type « révision ».

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Trente-cinq étudiants, 4 garçons et 31 filles, en Licence 1 de psychologie à l'Université Rennes II, participent à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 18.7 ans ($SD = 1.7$). Leur participation s'est faite sur la base du volontariat.

Aucun des participants à cette expérience n'a pris part auparavant à une expérience portant sur le thème de la perception des couleurs.

Seules les données des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissance dans le domaine de la perception des couleurs sont prises en compte dans les analyses statistiques.

Aussi, les données des participants obtenant 50% ou plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances ne sont-elles pas conservées.

3.2 Matériel expérimental

L'environnement servant de support d'apprentissage est le même que celui utilisé dans les expériences précédentes, à savoir un document hypermédia de 23 pages, dont une première page de consigne, portant sur la perception des couleurs, à la différence que dans cette expérience, les informations auparavant données à l'oral sont exclusivement présentées à l'écrit (cf. Figure 18). Pour autant, comme dans les études précédentes, chaque nœud d'informations ne comprend qu'une seule page, sans besoin de barre de défilement pour consulter toutes les informations comprises dans chaque nœud.

The screenshot shows a presentation slide titled "La rétine" (The retina) within a software interface labeled "diaporama 3". On the left is a navigation menu with an "Outline" section. The main content area contains a bulleted list of text and a microscopic image of the retina. The text explains that the retina analyzes and integrates light signals, contains approximately 127 million photoreceptors, and distinguishes between cones (for daytime vision) and rods (for low-light vision). The image shows a dense field of photoreceptors, with a legend indicating that '1' points to a rod and '2' points to a cone. The software interface includes a logo for "articulate POWERED PRESENTATION" and navigation controls at the bottom.

diaporama 3

Outline

- Consigne
- La lumière
- Les couleurs
 - Couleurs spectrales: Définition
 - Couleurs spectrales: Définition
 - Application au phénomène d'arc en ciel
 - La synthèse additive
 - La synthèse soustractive
 - Couleurs par absorption: Définition
 - Exemple
 - Anatomie de l'œil
 - La rétine
 - Théories de la perception des couleurs
 - Théorie trichromatique
 - Application: la télévision
 - Théorie des couleurs complémentaires
 - Théorie mixte
 - Anomalies de la perception des couleurs
 - Exemples d'anomalies
 - Vision d'un individu dichromate
 - Particularités des cécités à la couleur
 - Test d'Ishihara
 - Différence culturelle de la perception des couleurs

La rétine

- La rétine analyse et intègre de nombreux signaux lumineux qui sont interprétés par certaines structures du cerveau, comme les contours ou les couleurs.
- La rétine contient environ 127 millions de cellules réceptrices de la lumière nommées photorécepteurs
- Il existe 2 types de photorécepteurs:
 - Les cônes: ils fonctionnent en lumière diurne, c'est-à-dire à la lumière du jour (ou équivalent en éclairage) et assurent la vision colorée. Ils constituent le système de vision photopique.
 - Les bâtonnets: ils fonctionnent en faible éclairage et ne permettent qu'une vision en nuances de gris. Ils constituent le système de vision scotopique.
- Pour information, il y a une plus forte densité de cônes au niveau de la fovéa par rapport au reste de la rétine. Ainsi, la fovéa est la zone de vision des détails. Le restant de la rétine renvoie à ce que nous nommons « la vision périphérique ».



Fragment de surface rétinienne:
1. Bâtonnet; 2. Cône
(fausses couleurs)

Figure 18: Copie d'écran du matériel expérimental utilisé dans l'étude 4

L'ensemble des nœuds informationnels comporte un total de 2257 mots (en dehors de la page de consigne), soit en moyenne 102.6 mots par page.

A l'instar des études précédentes, le niveau de contrôle offert à l'apprenant est manipulé : soit le contrôle est « libre », et l'apprenant peut accéder aux nœuds d'informations

dans l'ordre qu'il souhaite, soit le contrôle est « limité », ce qui signifie que le séquençage du document est contraint dans un premier temps, jusqu'à visionnage complet du document.

L'objectif de consultation reste le même pour tous, quel que soit le niveau de contrôle offert : acquérir autant de connaissances que possible dans le domaine de la perception des couleurs, en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances.

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine

Le *pré-questionnaire de connaissances* permet d'évaluer le niveau de connaissances antérieures des apprenants dans le domaine d'apprentissage, à savoir la perception des couleurs. Ce pré-questionnaire comprend 6 questions ouvertes et une coupe de l'œil à légénder. Un point est accordé pour toute réponse / légende correcte. En cas de réponse / légende incorrecte ou incomplète, aucun point n'est accordé.

Ce pré-test permet de confirmer a posteriori que les apprenants ne disposent pas ou de peu de connaissances antérieures dans le domaine d'apprentissage.

3.3.b Enregistrement du mouvement des yeux

L'enregistrement des mouvements oculaires est réalisés grâce à l'appareil Tobii T60®. Ce système d'enregistrement est inclus dans l'écran et par conséquent, est non intrusif pour le participant. Grâce au logiciel Tobii Studio, sont déterminées dans le document hypermédia trois zones d'intérêt, appelées AOI (Area Of Interest) correspondant au sommaire, aux fonctions de contrôle du document et à la page de contenu informationnel. Chaque AOI est identifiée par un code (cf. Figure 19).

diaporama 3

Outline

Consigne **AOI 1**

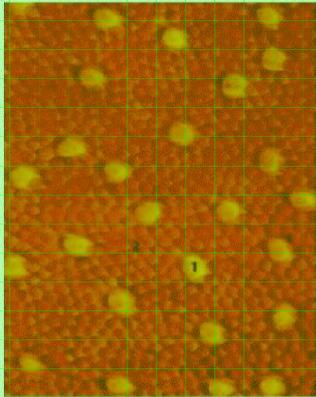
La lumière

Les couleurs

- Couleurs spectrales: Définition
- Couleurs spectrales: Définition
 - Application au phénomène d'arc en ciel
 - La synthèse additive
 - La synthèse soustractive
- Couleurs par absorption: Définition
- Exemple
- Anatomie de l'oeil
- La rétine**
- Théories de la perception des couleurs
 - Théorie trichromatique
 - Application: la télévision
 - Théorie des couleurs complémentaires
 - Théorie mixte
- Anomalies de la perception des couleurs
 - Exemples d'anomalies
 - Vision d'un individu dichromate
 - Particularités des cécités à la couleur
 - Test d'Ishihara
 - Différence culturelle de la perception des cc

La rétine AOI 2

- La rétine analyse et intègre de nombreux signaux lumineux qui sont interprétés par certaines structures du cerveau, comme les contours ou les couleurs.
- La rétine contient environ 127 millions de cellules réceptrices de la lumière nommées photorécepteurs
- Il existe 2 types de photorécepteurs:
 - Les cônes: ils fonctionnent en lumière diurne, c'est-à-dire à la lumière du jour (ou équivalent en éclairage) et assurent la vision colorée. Ils constituent le système de vision photopique.
 - Les bâtonnets: ils fonctionnent en faible éclairage et ne permettent qu'une vision en nuances de gris. Ils constituent le système de vision scotopique.
- Pour information, il y a une plus forte densité de cônes au niveau de la fovéa par rapport au reste de la rétine. Ainsi, la fovéa est la zone de vision des détails. Le restant de la rétine renvoie à ce que nous nommons « la vision périphérique ».



Fragment de surface rétinienne:
1. Bâtonnet; 2. Cône
(fausses couleurs)

articulâte
POWERED PRESENTATION

AOI 3

Figure 19: Copie d'écran du document comportant les zones d'intérêt déterminées sous Tobii Studio

Ce même logiciel permet d'exporter en fichier Texte les données enregistrées relatives aux mouvements oculaires. Ainsi, en déterminant ces zones d'intérêt, il est alors possible de calculer un temps moyen de fixation et un nombre moyen de fixations oculaires pour chaque zone, ce qui permet de déterminer le temps d'attention accordée à chacune d'entre elles (données relatives à la consultation de la consigne exclues).

3.3.c Activité métacognitive déclarée

Afin de récolter des données concernant la métacognition de l'apprenant lors de sa consultation du document, il lui est demandé de réaliser une tâche de verbalisation concernant aussi bien son activité de traitement de l'information que de navigation dans le document. Bien que plusieurs études aient montré une absence d'effet de l'utilisation d'un protocole verbal concomitant sur l'activité d'apprentissage (e. g. Bannert & Mengelkamp, 2008 ; Veenman, Elshout, & Groen, 1993), un *protocole verbal différé* lui est préféré (pour une synthèse, cf. Caverni, 1988). Cette activité est réalisée sur la base d'un film reprenant toute l'activité de l'apprenant à l'écran, y compris les fixations et saccades oculaires de l'apprenant. Le film est visionné sous le logiciel Tobii Studio. Lors de la tâche de verbalisation différée, en

cas d'absence de verbalisation, l'expérimentateur rappelle à l'apprenant la consigne par l'une de ses deux phrases : « S'il vous plait, dites ce à quoi vous pensiez à ce moment » ou « S'il vous plait, vous devez décrire votre activité à voix haute ». Les verbalisations sont enregistrées grâce au logiciel Audacity. Suite à l'expérience, les données sont retranscrites à l'écrit puis codées par la méthode du double juge, selon trois catégories déterminées par Moos et Azevedo (2008b), chacune renvoyant à un processus métacognitif : (1) la planification, (2) la surveillance, (3) l'utilisation de stratégies (pour la grille de codage, cf. Annexe 11). Le taux d'accord initial entre les juges est de 96 %. En cas de désaccord entre les deux juges, il y a discussion jusqu'à formulation d'un codage unanime sur la phrase en question. Ainsi, est calculé le nombre moyen d'apparition de chacun de ces trois processus dans le discours de l'apprenant.

Le *Questionnaire d'activité métacognitive perçue* permet de compléter les données récoltées lors du protocole verbal. Il a pour objectif d'évaluer, après consultation du document hypermédia, les comportements métacognitifs que l'apprenant pense avoir mis en place. Pour constituer ce questionnaire, des items sont adaptés du « Metacognitive Activity Questionnaire » créé par Schmidt et Ford (2003) et d'autres formulés pour cette étude (concernant le questionnaire utilisé, cf. Annexe 12). Il est supposé que ce questionnaire comprend trois facteurs qui correspondent aux processus métacognitifs déterminés par Moos et Azevedo (2008b). Etant donné que l'analyse factorielle confirme cette hypothèse (cf. Annexe 13), trois évaluations sont tirées de l'analyse du questionnaire d'activité métacognitive perçue : (1) un niveau perçu de planification, (2) un niveau perçu de surveillance de l'avancée vers l'objectif et (3) un niveau perçu d'utilisation de stratégie. Les valeurs des Alpha de Cronbach sont de $\alpha = .873$ pour la planification déclarée, $\alpha = .75$ pour la surveillance déclarée et $\alpha = .772$ pour l'utilisation de stratégie déclarée.

Tableau 18: Exemples d'items issus du questionnaire d'activité métacognitive déclarée

Processus de planification	<i>J'ai essayé d'évaluer les informations que je devais apprendre plutôt que de consulter chaque page l'une après l'autre.</i>
Processus de surveillance	<i>J'ai essayé de déterminer quelles informations je ne comprenais pas et d'ajuster ma stratégie de consultation en fonction de ces informations.</i>
Processus d'utilisation de stratégie (s)	<i>J'ai essayé d'organiser les informations lues afin d'avoir une représentation cohérente du domaine de la perception des couleurs.</i>

Chaque item du questionnaire se présente sous la forme d'une affirmation par rapport à laquelle l'apprenant doit se positionner. Le mode de réponse consiste en une échelle de réponse en 20 points, dont un des pôles est identifié comme « Pas du tout d'accord » et correspond à un score de 1, et un pôle identifié comme « Tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.d Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Le questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage comprend quatre facteurs (cf. Annexe 14) :

- Un facteur de contrôle perçu, dont chaque item renvoie à l'un des trois types de contrôle impliqués par tout environnement hypermédia d'apprentissage, à savoir le contrôle du séquençage, le contrôle du rythme du document et le contrôle du contenu.
- Un facteur de charge cognitive perçue, qui renvoie à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant pense avoir fourni pour comprendre l'information et du degré de difficulté ressenti par l'apprenant lors de la manipulation de l'environnement.
- Un facteur de métacompréhension, dont les items font référence à la qualité de la représentation du domaine d'apprentissage que pensent avoir les apprenants. Ces items renvoient donc à des notions de mémorisation des informations contenues dans le document, de compréhension de ces informations, et au possible transfert de ces informations.
- Un facteur de désorientation conceptuelle perçue, faisant référence selon Amadiou, Tricot et Mariné (2009) aux difficultés ressenties par l'apprenant lors de sa navigation dans « l'espace sémantique », *i. e.* des difficultés à lier ensemble de façon cohérente les différents concepts inclus dans le document d'apprentissage. Les mêmes items formulés

par ces auteurs sont donc utilisés (Alpha de Crombach, $\alpha = .783$, valeur inférieure à celle observée par les auteurs mais qui est acceptable).

Tableau 19: Exemples d'items issus du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Contrôle perçu	<i>J'ai le sentiment de pouvoir adapter le rythme du document à mon rythme de travail</i>
Charge cognitive perçue	<i>Comprendre les informations délivrées dans ce document m'a demandé des efforts</i>
Métacompréhension	<i>J'estime avoir compris les informations délivrées dans ce document.</i>
Désorientation conceptuelle	<i>J'ai fait l'expérience de difficultés à comprendre les relations entre les différentes pages du document.</i>

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. Les apprenants doivent se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.e Indices de navigation

Lors de la consultation du document, toute activité de l'apprenant à l'écran est enregistré par le logiciel Tobii Studio. D'après les vidéos enregistrées, le nombre de comportements de révision mis en place par les apprenants est comptabilisé.

3.3.f Questionnaire de connaissances

Le *questionnaire de connaissances* administré en fin de passation est identique à celui utilisé dans les études précédentes. Il comprend 7 questions ouvertes de type « paraphrase » et 7 questions ouvertes de type « inférence ». Parmi les questions d'inférence, sont distinguées les inférences réalisées un niveau local, i. e. qui nécessitent de mettre en relation différentes informations comprises dans un seul nœuds (soit 3 items) et au niveau global, dont la réponse

nécessite de mettre en relation deux informations comprises dans deux nœuds distincts (soit 4 items).

Le questionnaire est corrigé en aveugle, par un seul correcteur. A chaque bonne réponse est attribuée 1 point. Pour toute réponse incomplète ou erronée, aucun point n'est attribué.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle comprenant deux écrans d'ordinateur, l'un pour l'expérimentateur et l'autre pour le participant, écran auquel est intégré le système d'enregistrement des mouvements oculaires Tobii T60®. L'apprenant a devant lui une souris et un clavier. Chaque passation est individuelle. Dans un premier temps, le participant répond à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à son âge, son genre et leur cursus universitaire antérieur éventuel puis il complète le pré-questionnaire de connaissances dans le domaine de la perception visuelle.

Suite à ces questionnaires, l'apprenant prend place devant l'écran d'ordinateur équipé du système d'enregistrement des mouvements des yeux. L'expérimentateur veille à ce que la distance entre l'écran et le participant soit d'environ 60 cm puis procède au calibrage du système. La phase de consultation du document ne débute que lorsque le calibrage est correct. Une fois cette condition satisfaite, l'expérimentateur ouvre le document hypermédia et débute l'enregistrement. L'apprenant peut alors consulter les informations selon les instructions de la première page de consigne. Lorsqu'il estime avoir atteint son objectif d'apprentissage, il fait signe à l'expérimentateur qui ferme lui-même le document hypermédia et clôture l'enregistrement des mouvements oculaires.

Commence alors la tâche de verbalisation de l'activité métacognitive sur la base de l'enregistrement du mouvement oculaire du participant.

Suite à la tâche de verbalisation, les questionnaires sont fournis à l'apprenant. Il complète dans l'ordre, le questionnaire d'activité métacognitive perçue, le questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage puis le questionnaire de connaissances.

Le temps moyen de passation est d'environ 1 heure (plus ou moins 10 minutes).

A noter que, dans l'éventualité où le calibrage n'est pas satisfaisant après quatre essais, l'expérimentateur ouvre le document pour que le participant puisse réaliser la phase d'apprentissage mais ce dernier ne réalise pas la phase de protocole verbal différé, faute de données oculaires, et ses données ne sont pas conservées par la suite dans les analyses.

4 Résultats

Etant donné qu'un des participant dispose de plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire et que la calibration du système d'enregistrement du mouvement des yeux a échoué malgré plusieurs essais pour l'un des participants, seules les données de 33 participants sont prises en considération dans les analyses statistiques.

4.1 Analyse des performances d'apprentissage

Au regard du test d'homocédasticité de Levene, les variances des scores aux post-questionnaire de connaissances sont homogènes, $F < 1$ concernant chacun des scores. Aussi une analyse de variance multiple est-elle réalisée.

A l'image des études précédentes, les apprenants en condition de « contrôle libre » obtiennent des performances de compréhension significativement inférieures à celles des apprenants en condition de « contrôle limité » : $F(1, 32) = 6.43$, $MSE = 1.68$, $p = .017$. Les deux groupes ne se distinguent pas significativement concernant leur score aux questions de paraphrase : $F(1, 32) = 3.115$, $MSE = .87$, $p = NS$.

Tableau 20: Scores moyens au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert

Conditions	N	Paraphrase		Inférence		Inférence globale	
		M	SD	M	SD	M	SD
Contrôle libre	17	4.65	.82	3.13	1.3	1.12	.93
Contrôle limité	16	5.27	1.05	4.33	1.29	2.43	1.01

Notes : Le score maximum est de 7 pour les questions de paraphrase et de 7 pour les questions d'inférence, et de 4 pour les questions d'inférence globale.

Concernant les questions d'inférence, il apparaît que les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent de meilleures performances aux questions d'inférence de niveau global par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre », $F(1, 32) = 6.974$, $MSE = 1.083$, $p = .013$. Les deux groupes ne se distinguent pas significativement concernant les questions d'inférence de niveau local, $F(1, 32) = 2.229$, $MSE = .35$, $p = NS$.

4.2 Analyse de l'activité métacognitive

4.2.a Analyse des processus métacognitifs déclarés

Au regard du test d'homocédasticité des variances de Levene, les variances des processus métacognitifs déclarés lors du protocole verbal sont homogènes, $F < 1$ concernant chacun des processus, condition requise pour réaliser une analyse de variance multiple.

Tableau 21: Nombre moyen de processus d'auto-régulation déclarés selon le niveau de contrôle

	Condition contrôle libre (N = 17)		Condition contrôle limité (N = 16)	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
<i>Planification</i>	4.03	1.17	4.93	1.1
Planification	5.7		6.6	
Activation de connaissances	3.3		4.2	
Recyclage des buts en mémoire	3.1		3.9	
<i>Surveillance</i>	4.8	1.63	5.65	1.67
Auto-questionnement	4.3		5.7	
Surveillance de la stratégie	3.9		5.1	
Jugement de savoir	5.6		6.15	
Sentiment de savoir	5.9		5.7	
Progression vers le but	4.3		5.6	
<i>Utilisation de stratégies</i>	15.38	1.93	14.1	1.69
Sélection des informations	14.5		11.8	
Mémorisation	24.9		20.6	
Inférences	10.2		11.7	
Elaboration de connaissances	11.9		12.3	

En accord avec l'hypothèse **H1**, les apprenants en condition de « contrôle limité » déclarent significativement plus de processus de planification, $F(1, 32) = 5.349$, $MSE = 1.298$, $p = .028$, et significativement plus de processus de surveillance de l'avancée vers l'objectif, $F(1, 32) = 4.25$, $MSE = 2.916$, $p = .048$. En revanche, les apprenants ne se différencient pas significativement concernant le nombre moyen de processus déclarés d'utilisation de stratégies, $F(1, 32) = 3.847$, $MSE = 3.427$, $p = NS$.

Une des conditions pour vérifier l'hypothèse **H2** est que les apprenants qui mettent en place le plus de processus métacognitifs sont ceux qui obtiennent de meilleures performances de compréhension aux questions d'inférence de niveau global. Aussi une analyse de régression multiple est-elle conduite.

Tableau 22: Analyse de régression multiple concernant le score aux questions d'inférence de niveau global

	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>B</i>	β
Score aux inférences de niveau global	.75	.515**		
Nombre de processus de planification déclarés			.389*	.32
Nombre de processus de surveillance déclarés			.429**	.521
Nombre de processus d'utilisation de stratégie déclarés			.04	.052

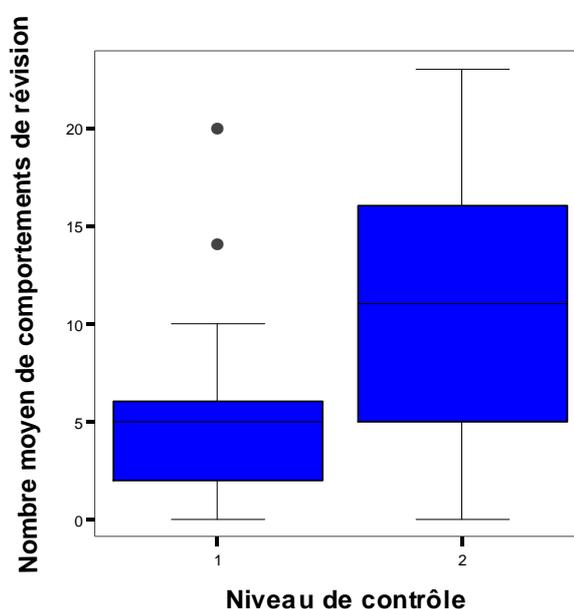
Notes : $N = 33$; r^2 est ajusté ; * $p < .05$; ** $p < .01$

De cette analyse, il est observé que les différents processus métacognitifs expliquent globalement 52% des variations du score de compréhension ($r^2 = .515$). Ainsi, le nombre de processus de planification déclarés et le nombre de processus de surveillance de l'avancée vers l'objectif sont significativement liés au score obtenu aux questions d'inférence globale, respectivement $t = 2.215$, $p = .035$, et $t = 3.496$, $p = .002$. Plus les apprenants mettent en place de processus de planification et de surveillance de l'avancée, meilleures sont leur performance aux questions de compréhension de niveau global.

4.2.b Analyses des indices de navigation

Dans cette étude, est uniquement considéré le nombre de comportements de révision comme indice de navigation. Le test d'homocédasticité de Levene n'indique pas une hétérogénéité significative des variances du nombre moyen de comportements de révision, $F(1, 32) = 2.053, p = .162$.

L'analyse de variance ici appliquée met en évidence une différence significative du nombre moyen de comportements de révision, selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage, $F(1, 32) = 50.831, MSE = 35.575, p = .001$.



Notes : 1 = condition « contrôle libre » ; 2 = condition « contrôle limité »

Figure 20: Nombre moyen de comportements de révision mis en place par les apprenants selon le niveau de contrôle

A l'instar des études précédentes, il apparaît que les apprenants en condition de contrôle limité mettent en place significativement plus de comportements de révision.

Afin d'étudier l'existence possible d'un lien entre les processus d'autorégulation mis en place par l'apprenant et les comportements de navigation mis en place, une analyse de régression multiple est réalisée. Il apparaît que le nombre de processus de planification et le

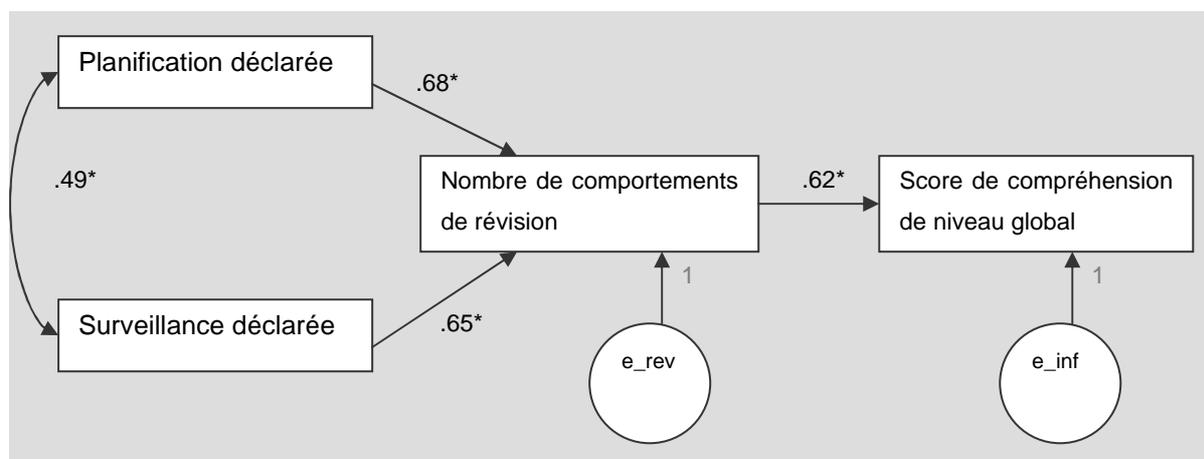
nombre de processus de surveillance déclarés expliquent 65% des variations du nombre moyen de comportements de révision ($r^2 = .649$). Ces deux processus métacognitifs sont significativement liés au nombre de comportements de révision utilisés, respectivement $t = 4.093, p = .001$ et $t = 3.608, p = .001$.

Tableau 23: Analyse de régression concernant le nombre moyen de comportements de révision

	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>B</i>	β
<i>Comportements de révision</i>	.72	.549*		
Nombre de processus de planification déclarés			2.716*	.503
Nombre de processus de surveillance déclarés			1.623*	.443
Nombre de processus d'utilisation de stratégies déclarés			1.041	.203

Notes : $N = 33$; r^2 est ajusté ; * $p < .01$

Or, le nombre de comportements de révision mis en place explique en partie les scores de compréhension de niveau global. Afin de tester un modèle qui prendrait en compte ces deux analyses de régression et permettrait de vérifier l'hypothèse **H2**, un modèle de médiation est construit sous Amos 5.0.



Notes : $N = 33$; * $p < .01$

Figure 21: Modèle de régression sous Amos 5.0

Ce modèle est validé : $\chi^2 = 3.989$, $ddl = 2$, $p = .136$. Toutefois, les indices *CFI* et *RMSEA* indiquent un ajustement moyen des données au modèle supposé ($CFI = .970$, $RMSEA = .062$).

4.2.c Analyse du questionnaire d'activité métacognitive perçue

Le test d'homocédasticité de Levene ne laisse pas apparaître d'hétérogénéité significatives des variances des scores au questionnaire d'activité métacognitive, concernant le niveau de planification perçue, $F < 1$; concernant le niveau de surveillance perçue, $F(1, 32) = 3.93$, $p = .07$; et concernant le niveau perçue d'utilisation de stratégie, $F(1, 32) = 1.06$, $p = .36$. L'analyse de variance multiple utilisée montre une différence significative concernant le niveau perçue de planification, $F(1, 32) = 6.12$, $MSE = 3.61$, $p = .036$ (en « contrôle libre » : $M = 9.35$, $SD = 2.55$; en « contrôle limité » $M = 11.6$, $SD = 3.38$) et le niveau perçue de surveillance de l'avancée vers l'objectif, $F(1, 32) = 4.24$, $MSE = 7.97$, $p = .049$ (en « contrôle libre » : $M = 10.84$, $SD = 1.94$; en « contrôle limité » : $M = 12.56$, $SD = 1.86$). Les apprenants qui consultent le document en condition de « contrôle limité » estiment mettre en place un plus grand nombre de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif. Les groupes ne se distinguent pas significativement concernant le niveau perçue d'utilisation de stratégies, $F(1, 32) = 2.77$, $MSE = 6.34$, $p = NS$ (en « contrôle libre » : $M = 14.61$, $SD = 2.85$; en « contrôle limité » : $M = 13.08$, $SD = 2.13$).

Ainsi, il est observé de mêmes différences entre les deux groupes d'apprenants concernant les processus métacognitifs déclarés lors du protocole verbal différé et les niveaux d'autorégulation perçus recueillis par questionnaire, et par conséquent, ces deux mesures apparaissent comme corrélées entre elles (cf. Tableau 24).

Tableau 24: Corrélation entre les processus métacognitifs déclarés et les niveaux d'autorégulation perçus

	Planification déclarée	Surveillance déclarée	Utilisation déclarée de stratégies	Planification perçue	Surveillance perçue	Utilisation perçue de stratégies
Planification déclarée						
Surveillance déclarée	.491**					
Utilisation déclarée de stratégies	.345*	.273				
Planification perçue	.36*	.242	-.086			
Surveillance perçue	.23	.358*	.268	.5**		
Utilisation perçue de stratégies	.167	.24	.414**	.103	.265	

Notes : * la corrélation est significative au niveau .05 ; ** la corrélation est significative au niveau .01

4.3 Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Au préalable d'une analyse de variance multiple, il est vérifié que les variances des scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage sont homogènes, $F < 1$ pour chacun des scores.

Concernant le questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, l'analyse de variance multiple laisse apparaître que les apprenants placés en condition de « contrôle limité » ont un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage plus important, $F(1, 32) = 5.71$, $MSE = 3.14$, $p = .024$, une charge cognitive moindre, $F(1, 32) = 5.06$, $MSE = 7.34$, $p = .032$ et un sentiment de désorientation conceptuelle moindre, $F(1, 32) = 7.17$, $MSE = 6.63$, $p = .012$. A l'issue de leur consultation, les apprenants en condition de « contrôle limité » expriment un niveau de métacompréhension significativement plus important par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre », $F(1, 32) = 4.04$, $MSE = 2.77$, $p = .051$.

Tableau 25: Scores moyens au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de contrôle offert par l'environnement

Groupe	N	Contrôle perçu		Charge cognitive perçue		Désorientation conceptuelle		Métacompréhension	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Contrôle libre	17	12.95	1.85	8.17	2.75	8.09	2.72	14.64	1.78
Contrôle limité	16	14.49	1.69	5.95	2.67	5.58	2.42	15.87	1.54

Note : le score maximum est de 20 pour chaque facteur.

4.4 Analyse quantitative et qualitative des mouvements oculaires

Dans cette section, mouvements oculaires et verbalisations différées des participants sont mises en relation afin de mettre en saillance les différences de régulation de l'épisode d'apprentissage et de stratégies de consultation entre les deux groupes d'apprenants.

En premier lieu, il apparaît dans les verbalisations différées que les apprenants se sont fixés des objectifs de consultation différents selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage. Ceux en condition de « contrôle libre » se sont fixés en majorité un objectif d'apprendre autant d'informations que possible en une première consultation, et lorsque toutes les pages ont été consultées au moins une fois, peu d'entre eux ont pris la décision de revenir sur une / plusieurs pages, estimant que cette seule consultation suffisait (concerne 7 apprenants sur les 17 en condition « contrôle libre »). Pour ces apprenants ayant utilisé une stratégie de type « révision », ceux-ci n'ayant pas repéré la structure du document en première consultation, ne savent de quelles informations ils ont besoin en vue d'atteindre leur objectif d'apprentissage et mettent en place des comportements de révision particuliers par rapport aux apprenants en condition de « contrôle limité », qui pourraient être qualifiés de comportements de « révision à rebours », et qui consistent à revoir tous les nœuds d'informations du dernier jusqu'au premier, parfois moins de trois secondes¹ (concerne 5 apprenants parmi les 7 ayant adopté une stratégie de type « révision »). Concernant les apprenants en condition de « contrôle limité », ceux-ci se sont fixés l'objectif de repérer en

¹ A noter que les pages consultées moins de trois secondes ne sont pas considérées comme des comportements de consultation ou de révision. En effet, un lecteur dit « expert » peut lire de 200 à 300 mots en une minute (Baccino & Colé, 1995), soit de 9 à 15 mots en 3 secondes. Or, les pages du document ici utilisé comprennent en moyenne 102 mots.

premier lieu la structure du document, quelles informations se trouvent dans quelle page puis de revenir, dans un second temps de consultation, approfondir leurs connaissances. Ainsi, les apprenants en condition de « contrôle limité » font de nombreuses transitions entre le sommaire et le contenu informationnel lors de la première consultation, avec pour objectif déclaré de repérer le titre du contenu dans la hiérarchie du sommaire, puis en phase de révision afin de choisir le / les nœuds d'informations à consulter de nouveau. Les apprenants en condition de « contrôle limité » réalisent ainsi les inférences de niveau global lors de cette phase de révision, consultant les unes à la suite des autres les pages d'informations qu'ils estiment liées sémantiquement. Dans la Figure 22 et la Figure 23, sont représentées graphiquement les transitions entre les AOI selon le temps de consultation de l'épisode d'apprentissage. L'apprenant en condition de « contrôle libre » a adopté une stratégie de consultation linéaire, et a navigué uniquement en utilisant les fonctions de contrôle présentes en bas de l'écran. L'apprenant en condition de « contrôle limité » a adopté une stratégie de consultation de type « révision », et a utilisé dans un premier temps les fonctions de contrôle pour naviguer, jusqu'à consultation complète du document, puis a utilisé le sommaire afin de consulter à nouveau certains nœuds d'informations. Bien que ces deux apprenants aient utilisé les fonctions de contrôle pour consulter les nœuds d'informations une première fois, l'apprenant en condition de « contrôle limité » a réalisé plus de transition entre l'AOI 2 (*i. e.* le contenu informationnel) et l'AOI 1 (*i. e.* le sommaire).

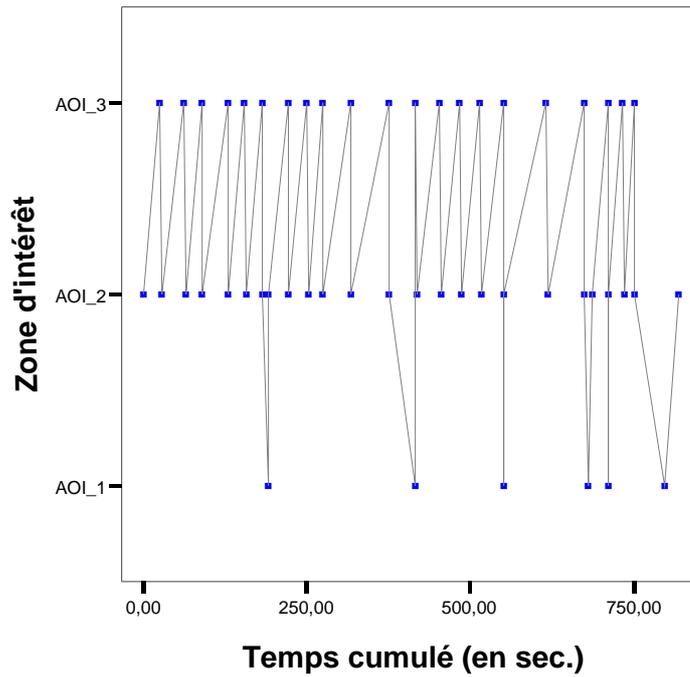


Figure 22: Répartition temporelle des transitions entre les zones d'intérêt pour un apprenant en condition « contrôle libre », ayant adopté une stratégie de type « linéaire » (sujet 8)

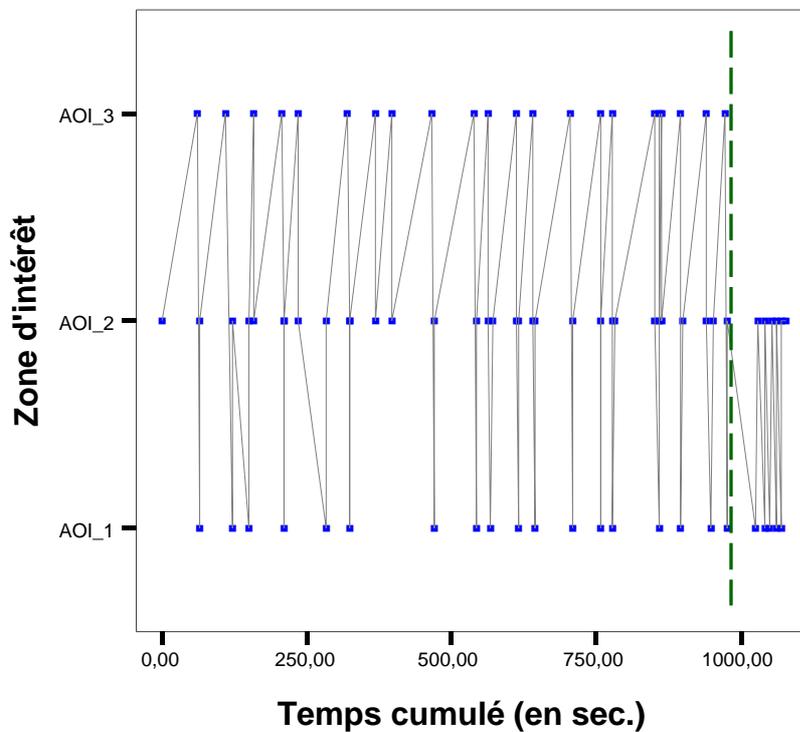


Figure 23: Répartition temporelle des transitions entre les zones d'intérêt pour un apprenant en condition « contrôle limité », ayant adopté une stratégie de type « révision » (sujet 15)

Ainsi, les apprenants ne se différencient pas significativement concernant leur temps de consultation moyen du sommaire (en ms, $M = 67300$, $SD = 4952$ concernant les apprenants en condition de « contrôle limité » ; $M = 42093$, $SD = 4568$ concernant les apprenants en condition de « contrôle libre » ; $F < 1$), mais les apprenants en condition de « contrôle limité » y font référence à de plus nombreuses reprises.

Les apprenants en condition de « contrôle limité » ont ainsi deux phases de planification, une première qui suit la lecture de la consigne et une seconde qui précède la phase de révision des informations, tandis que les apprenants en condition de « contrôle libre » n'ont pas de phase de planification aussi marquée dans leurs verbalisations différées. De plus, les apprenants en condition de « contrôle limité » ont une phase significative de surveillance de l'avancée vers l'objectif précédant directement la seconde phase de planification. Durant cette phase de surveillance, les apprenants mettent en place des processus d'auto-questionnement et de jugement de savoir sur la base d'une inspection du sommaire. Les apprenants en condition de « contrôle libre » ont une phase finale de surveillance de l'avancée vers l'objectif moindre par rapport au premier groupe, et qui consiste principalement en l'expression d'un sentiment de savoir, là aussi sur la base d'une inspection finale du sommaire.

Enfin, il n'apparaît pas de différence significative de temps moyen de fixation du contenu informationnel entre les deux groupes d'apprenants (en ms, $M = 1032091$, $SD = 386612$ pour les apprenants en condition de « contrôle limité » et $M = 924460$, $SD = 217274$ pour les apprenants en condition de « contrôle libre » ; $F(1, 32) = 1.185$, $p = NS$). Cependant, les mouvements oculaires et les verbalisations différées mettent en évidence que les apprenants en condition de « contrôle libre » relisent certaines diapositives plusieurs fois d'affilée afin de s'assurer une compréhension de ces diapositives et, par conséquent, réalisent des inférences uniquement à un niveau local. A l'opposé, les apprenants en condition de « contrôle limité » ayant planifié une révision de certaines diapositives selon leurs besoins estimés en fin de consultation, réalisent des inférences à un niveau local en première lecture et des inférences à un niveau globale en phase de révision. Ces observations font donc écho aux résultats obtenus dans l'étude 2 concernant les performances aux questions d'inférence.

4.5 Analyse qualitative des protocoles verbaux différés

Plusieurs faits importants sont apparus au cours des protocoles verbaux. Le premier à noter est la volonté de tous les apprenants d'être aussi exhaustifs que possible dans leur consultation des informations. Aussi, tous les apprenants voient au moins une fois chacun des

nœuds du document hypermédia, et tous vérifient en fin de consultation que tous les nœuds ont été consultés en « balayant » le sommaire.

Concernant les stratégies de consultation mises en place, il est à noter que certains apprenants qui estiment ne pas disposer de connaissances préalables dans le domaine, expriment un sentiment de « découragement » face à la consultation du document. Ainsi, à la fin de la première consultation, ils font le constat que cette consultation n'est pas suffisante pour atteindre l'objectif d'apprentissage fixé, mais estiment que l'atteinte de l'objectif leur demanderait trop de temps et / ou ne savent pas comment procéder avec le document pour atteindre cet objectif (concerne 5 apprenants en condition de « contrôle libre », contre 2 apprenants en condition de « contrôle limité »).

De plus, il apparaît dans le discours des apprenants que leurs performances supposées au pré-questionnaire de connaissances influencent leur consultation du document, en termes de temps de consultation à accorder à certains nœuds d'informations et / ou en termes de nœuds à consulter à nouveau, bien que la consigne ne mentionne à aucun moment que le questionnaire à suivre sera le même que celui auparavant complété. Les apprenants accordent plus de temps de consultation aux informations relatives aux questions non-réussies dans le pré-questionnaire. Or, dans la plupart des études mentionnées en introduction, le pré-questionnaire de connaissances est aussi utilisé en post-questionnaire afin de pouvoir résonner en termes de gain de connaissances ou amélioration du modèle mental. Ces mesures seraient alors biaisées.

5 Conclusion

Dans l'expérience 3, il était observé que les apprenants en condition de « contrôle libre » éprouvaient des difficultés à évaluer leur niveau de compréhension des informations, quittant ainsi prématurément l'épisode d'apprentissage. Or, l'évaluation par l'apprenant de son état de connaissances renvoie au processus métacognitif de « surveillance de l'avancée vers l'objectif ». Aussi, dans cette 4^{ième} étude, était-il supposé que les apprenants en condition de « contrôle limité » mettaient en place plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ».

Les résultats obtenus permettent de vérifier les hypothèses préalablement émises (**H1** et **H2**). Lors du protocole verbal différé, les apprenants en condition de « contrôle limité » déclarent significativement plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». En revanche, les deux

groupes ne se distinguent pas significativement concernant le nombre de processus d'utilisation de stratégies. En procédant à une analyse de régression, il est observé que la mise en place de processus métacognitifs de planification et de surveillance explique pour une part l'utilisation de comportements de révision lors de l'épisode d'apprentissage. Donc, lorsque le séquençage de l'épisode d'apprentissage est contraint, les apprenants planifient plus leur épisode d'apprentissage et surveillent plus leur avancée vers l'objectif d'apprentissage, ce qui se traduit par la mise en place de plus de comportements de révision. Ainsi, ils obtiennent de meilleures performances de compréhension à un niveau global par rapport aux apprenants pour qui le séquençage est libre.

Dans l'expérience 3, il apparaissait que les apprenants en condition de « contrôle limité » avaient une métacompréhension plus adaptée par rapport à leur performance aux questions de compréhension. Dans une situation de lecture-compréhension, surveiller l'avancée de la progression vers l'objectif d'apprentissage signifie avant tout évaluer correctement son état de connaissances. Après avoir consulté au moins une fois chaque nœud d'informations, si l'apprenant établit qu'il n'a pas atteint son objectif d'apprentissage ou qu'il y a une incohérence dans son modèle de situation, alors l'apprenant devrait réguler son apprentissage en planifiant une phase de révision, en activant les connaissances préalablement acquises pour déterminer quel nœud d'informations consulter à nouveau et utiliser des stratégies de type « mémorisation » ou « inférences ».

Dans la situation où le séquençage est contraint, les apprenants expriment l'idée d'une première consultation ayant pour objectif de repérer la structure du document et les informations contenues dans chaque nœud, puis en phase de révision, ils sélectionnent les nœuds d'informations pour lesquels ils estiment avoir des difficultés de révision ou qui nécessitent une relecture afin de mémoriser des informations spécifiques. Aussi, il apparaît une tendance des apprenants en condition de « contrôle limité » à faire des transitions entre le contenu informationnel et le sommaire tout au long de l'épisode d'apprentissage, et cela même s'ils n'ont pas utilisé le sommaire pour naviguer. Cette observation pourrait expliquer les meilleures performances des apprenants en condition de contrôle limité à l'épreuve de rappel de la structure dans les études 2 et 3, ainsi que les meilleures performances aux questions d'inférence globale constatées dans cette étude et l'étude 2. Durant leur épisode d'apprentissage, les apprenants en condition de « contrôle libre » ne font référence au sommaire qu'en fin de première consultation et expriment alors dans les protocoles verbaux différés des processus de surveillance de l'avancée vers l'objectif de type « sentiment de savoir » et non de « jugement de savoir ». Or, Rouet et Potelle (2005) avancent l'idée que le

traitement d'une représentation graphique du contenu peut parfois amener l'apprenant à un phénomène d'« illusion de savoir » (cf. Expérience 3), ce qui ferait que l'apprenant ne traiterait en profondeur le document. Dans l'expérience ici décrite, bien que le sommaire ne présente que partiellement les relations sémantiques entre les nœuds d'informations, son traitement en fin de première consultation par les apprenants en condition de « contrôle libre » pourrait les amener à penser qu'ils ont effectivement traité la totalité des nœuds d'informations, et à avoir le sentiment d'avoir compris les notions exposées dans chaque nœud, au détriment sans doute d'une compréhension plus globale du domaine d'apprentissage.

Concernant le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, à l'instar des études précédentes, les apprenants en condition de « contrôle limité » expriment une charge cognitive moindre et un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage plus important. De plus, ils expriment un sentiment de désorientation moindre par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». Toutefois, concernant la mesure de la désorientation conceptuelle perçue, il est à noter que les évaluations faites par les deux groupes d'apprenants sont relativement faibles. En effet, les nœuds d'informations sont organisés de façon cohérente et par conséquent, bien que certains apprenants expriment l'idée de ne pas savoir quel nœud d'informations consulter par la suite, ils n'estiment pas avoir été perdus dans « l'espace hypertexte ».

Toutefois, les résultats de cette étude sont à considérer avec précautions. En effet, si Rouet et Passerault (1999) soulignent que l'utilisation d'un protocole verbal pendant l'utilisation du système peut présenter deux inconvénients majeurs, interférer avec l'activité principale de l'apprenant et ne refléter que l'interprétation que l'apprenant fait de son activité, l'utilisation d'un protocole verbal différé présente lui aussi un inconvénient qui est l'oubli du pourquoi de certains comportements. De plus, l'utilisation d'un film de leur interaction avec l'environnement, qui met en saillance leur parcours d'exploration des informations, provoquent un certain attrait chez les participants, et pour certains, l'effet de nouveauté perdure quelque temps après le passage de la consigne, les apprenants limitant alors leur nombre de verbalisations. Bien que le temps de lecture de la consigne était considéré a priori comme suffisant pour habituer les apprenants aux données relatives aux saccades et fixations oculaires, il serait à envisager d'allonger ce temps d'habituation en mettant en place un entraînement à la verbalisation sur un document autre que celui servant de support à l'apprentissage. Cette phase permettrait par la même occasion d'entraîner les apprenants à verbaliser leurs actions passées.

Pour tirer avantage des environnements hypermédias d'apprentissage, les apprenants doivent posséder les compétences métacognitives nécessaires pour utiliser à bon escient les caractéristiques des environnements hypermédia, telles que les multiples représentation de l'information ou le contrôle de l'apprenant (Goldman, 2003). Or, pour les apprenants n'ayant pas ou eu de connaissances préalables dans le domaine, la régulation de l'épisode d'apprentissage apparaît difficile. Ils mettent en place peu de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif d'apprentissage, ce qui peut expliquer en partie leur difficulté à mettre en place une stratégie de consultation pertinente. Il est à supposer que ces difficultés de régulation de l'épisode d'apprentissage ont des répercussions directes sur les performances de compréhension à un niveau global, mais aussi des répercussions indirectes en termes de ressources cognitives mobilisées pour prendre les décisions de navigation, au détriment du traitement du contenu informationnel. L'étude suivante vise donc à déterminer comment s'opère la répartition des ressources cognitives entre l'activité d'utilisation du document hypermédia et l'activité d'apprentissage des informations, selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage.

Expérience 5 : Utilisation d'un document hypermédia pour l'apprentissage : niveau de contrôle et charge cognitive.

Résumé :

Dans l'expérience 4, les apprenants n'ayant pas / peu de connaissances antérieures dans le domaine d'apprentissage régulent plus leur épisode d'apprentissage lorsque le séquençage est temporairement contraint, mettant en place plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif. Ces mêmes apprenants expriment une charge cognitive perçue moindre. Lorsque le séquençage est contraint, l'utilisation de l'environnement hypermédia permet d'améliorer l'apprentissage des informations et semble demander moins de ressources cognitives, alors même que les apprenants ont une activité métacognitive plus importante. Aussi, pour compléter les résultats précédents, une méthode de triple tâche est utilisée afin d'évaluer comment s'opère la répartition des ressources cognitives entre l'activité d'apprentissage des informations et l'activité d'utilisation de l'environnement hypermédia, selon le niveau de contrôle offert. Il est alors observé que les apprenants en condition de « contrôle limité » ont de meilleures performances à la triple tâche par rapport aux autres apprenants lors du traitement des outils de navigation, mais les performances des apprenants ne se différencient pas significativement concernant le traitement du contenu textuel.

1 Introduction

Un épisode d'apprentissage hypermédia représente une double activité : une activité d'apprentissage des informations et une activité d'utilisation de l'environnement hypermédia. L'activité d'apprentissage des informations représente l'activité principale, le traitement de l'information et la construction d'un modèle de situation devraient donc mobiliser majoritairement les ressources cognitives de l'apprenant. Or, pour traiter l'information contenue dans l'environnement hypermédia, il est nécessaire d'utiliser le document, *i. e.* exercer un contrôle sur son épisode d'apprentissage : contrôle du rythme, contrôle du contenu et contrôle du séquençage. Concernant les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine, et pour qui le traitement de l'information devrait être plus coûteux que pour les apprenants disposant de connaissances antérieures, comment se répartissent les ressources cognitives lors d'un épisode d'apprentissage hypermédia ?

1.1 Apprentissage hypermédia et capacités limitées de la mémoire de travail

En plus des traitements cognitifs liés à la tâche de lecture, *i.e.* décodage des caractères, reconnaissances de mots, développement d'un modèle de situation, la lecture hypertexte implique une activité métacognitive, notamment de surveillance de la compréhension afin d'identifier toute lacune dans le modèle de situation (Azevedo & Jacobson, 2008). La lecture hypertexte implique de déterminer la pertinence des informations, d'essayer d'intégrer les nouvelles informations avec les connaissances préalables, de surveiller la compréhension afin de guider les décisions concernant ce qui est à lire par la suite. Faire sens dans un environnement hypertexte place une charge cognitive supplémentaire sur le lecteur par rapport à une situation de lecture traditionnelle (Niederhauser, Reynolds, Salmen & Skolmoski, 2000). La lecture des nœuds d'informations dans un hypertexte nécessite du lecteur de prendre des décisions concernant le développement cohérent d'une représentation de la base de texte. Après avoir lu un nœud d'information donné, le lecteur doit décider quel nœud lire par la suite, selon son objectif de lecture et selon les options de choix proposées par le document hypertexte (cf. Figure 25). Il doit alors interrompre la construction de son modèle de situation. Chaque fois qu'un lecteur décide de suivre un lien, le texte du nouveau lien fonctionne comme une interruption dans le processus de compréhension (DeStefano & LeFevre, 2007). Si le nœud est lié et améliore le développement du modèle de situation, alors

l'interruption n'aura qu'un effet minime sur la compréhension. Si le nouveau nœud n'est pas lié au précédent, une interruption dans la construction du modèle de situation va apparaître. Dee-Lucas et Larkin (1995) supposent ainsi que cette discontinuité, ces interruptions dans la lecture peuvent interférer dans le développement d'un modèle de situation cohérent. Ainsi, chaque fois que le lecteur doit choisir un nouveau nœud d'informations, il doit créer une connexion avec les informations antérieures et incorporer ces nouvelles informations aux précédentes. Il devient alors difficile de dégager les idées principales du texte. Pour Amadiou, van Gog, Paas, Tricot et Mariné (2009), le fait que l'apprenant soit contraint de déterminer par lui-même le parcours à suivre dans l'hypertexte, de sélectionner l'information, la traiter et l'intégrer à d'autres informations imposent une forte demande sur les ressources cognitives, ce qui peut conduire à la désorientation et à la surcharge cognitive et avoir des conséquences négatives sur l'apprentissage. Selon Wenger et Payne (1996), le coût spécifique du traitement d'un document hypertexte, par rapport au traitement d'un texte linéaire, réside dans la prise de décisions concernant le séquençage et la navigation dans l'environnement. La tâche de sélection d'un parcours dans le document hypertexte nécessite que le lecteur prenne des décisions et fasse des prédictions à propos des relations entre les nœuds (cf. Figure 24 et Figure 25).

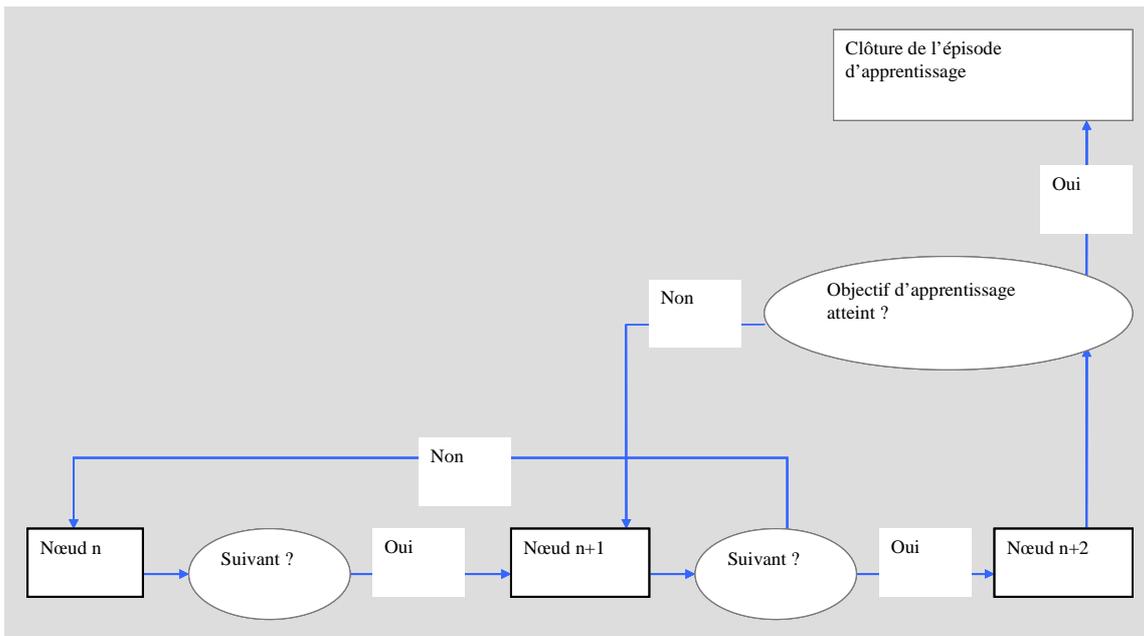


Figure 24: Représentation du traitement d'un texte linéaire

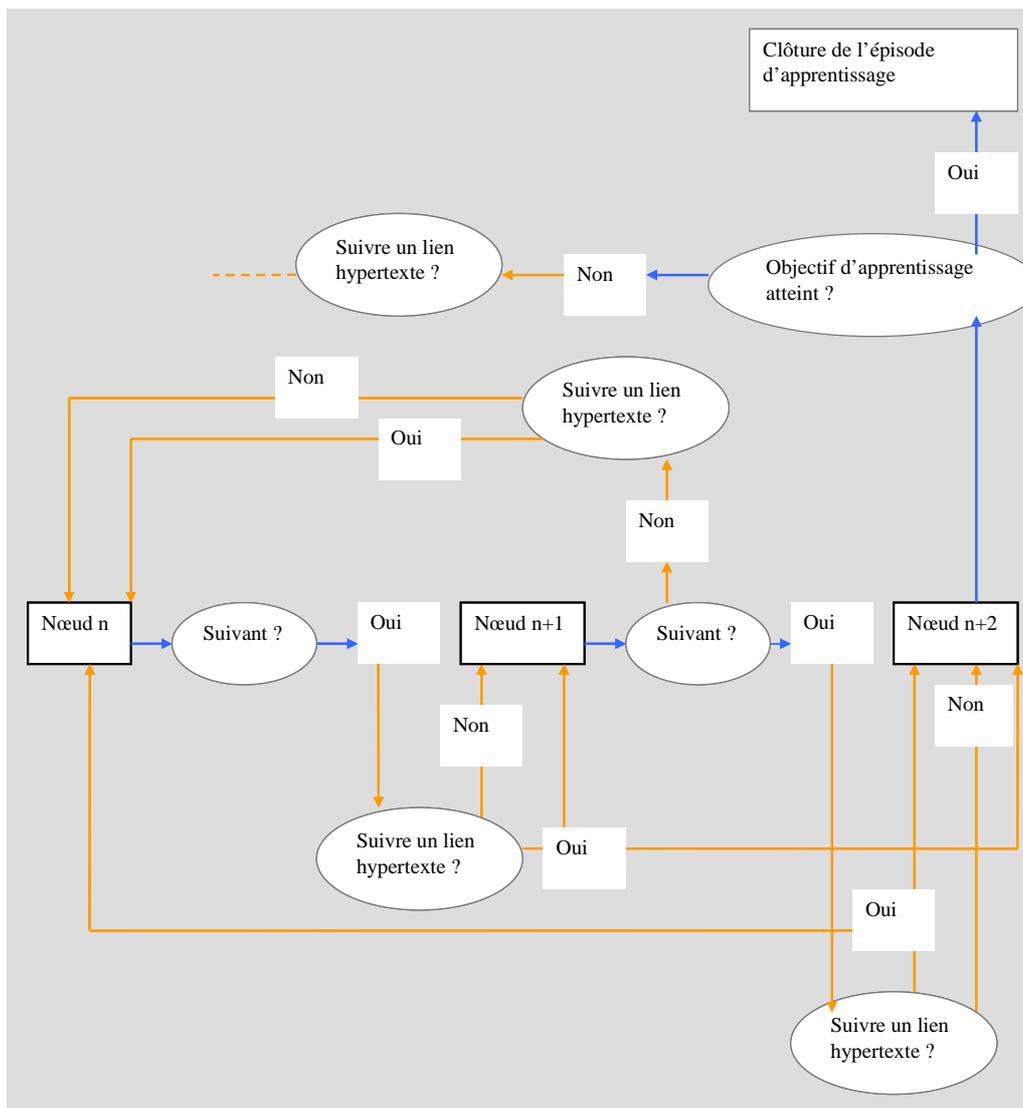


Figure 25: Représentation du traitement d'un hypertexte

Etant donné la nécessité de déterminer un parcours cohérent à travers les nœuds d'informations, la lecture hypertexte impliquerait une charge cognitive supplémentaire par rapport à la lecture d'un texte linéaire. Ainsi, Lee et Tedder (2003) font l'hypothèse que l'empan de mémoire de travail serait un facteur de différenciation interindividuelle dans le traitement des environnements d'apprentissage hypertextes. Ils administrent aux apprenants, avant la consultation du document, trois épreuves d'empan de lecture. Le texte, portant sur « la lutte contre la ségrégation aux Etats-Unis » est présenté selon l'une de ces trois structures : texte linéaire, hypertexte hiérarchique et hypertexte en réseau. Les apprenants ayant un empan de lecture faible obtiennent de meilleures performances d'apprentissage en condition de texte linéaire tandis que les apprenants ayant un empan de lecture plus importants obtiennent des performances équivalentes entre les trois formats de présentation. Donc le traitement de textes non-linéaires nécessiterait la mobilisation de plus de ressources cognitives en comparaison au traitement de textes linéaires.

Miall et Dobson (2001) examinent l'impact du choix des liens à suivre sur la lecture de courtes histoires, le caractère « narratif » des documents à lire impliquant donc une forte composante temporelle. En condition linéaire, les lecteurs avancent de nœud en nœud en utilisant la fonction « page suivante ». Dans la condition « pseudo-hypertexte », les lecteurs choisissent un lien parmi trois proposés. Cependant, peu importe le lien choisi par le lecteur, celui-ci le mène vers le même nœud d'informations qu'en condition « texte linéaire ». Bien que tous les participants lisent le texte dans un séquençage cohérent et identique, les auteurs observent que les lecteurs en condition de « pseudo-hypertexte » expriment une plus grande confusion lors de l'épisode de lecture et ont des temps de réalisation de la tâche de lecture plus importants. Dans leur expérience, Zumbach et Mohraz (2008) demandent aux participants de lire un texte narratif, type conte de fée, soit en version linéaire, soit en version hypertexte dans laquelle l'apprenant doit revenir à la première page pour choisir le nœud suivant à lire. Il apparaît grâce à l'utilisation de deux mesures de la charge cognitive, le NASA-TLX (*Task Load index*) et le MERS (*Mental Effort Rating Scale*), que les apprenants en condition non linéaire expriment une charge cognitive plus importante et obtiennent de moindres performances dans l'épreuve de rédaction d'un essai et un gain de connaissances plus faible entre le QCM administré en pré-test et en post-test.

Dans ces études, se perçoit l'impact du choix du séquençage sur les performances d'apprentissage de l'apprenant et sur son sentiment de désorientation dans l'environnement hypermédia. Les traitements cognitifs et métacognitifs impliqués par la navigation et l'activité

de compréhension à travers les nœuds séparés spatialement semblent augmenter la charge cognitive des lecteurs. Se pose alors la question de la gestion des ressources cognitives de l'apprenant face à un document hypertexte, entre l'activité cognitive et l'activité métacognitive, entre l'activité de traitement du contenu informationnel et l'activité de navigation. Des éléments de réponse sont apportés par différentes théories de la charge cognitive.

1.2 Théories de la charge cognitive

1.2.a Théorie de la charge cognitive (Sweller, 1999)

La théorie de la charge cognitive concerne la manière dont sont réparties et utilisées les ressources cognitives pendant un apprentissage ou la résolution d'un problème. Cette théorie est basée sur une distinction entre mémoire à long terme (MLT) et mémoire de travail (MdT) ; les capacités de la MdT sont limitées, tandis que l'activation de connaissances préalables en MLT n'est pas soumise aux mêmes limites que le traitement des informations nouvelles en MdT. La théorie de la charge cognitive implique l'idée que toute situation d'apprentissage induit une charge cognitive, et dans chaque situation, trois sources de charge cognitive sont à considérer : (1) la charge intrinsèque, liée à la difficulté de la tâche ; (2) la charge cognitive inutile, liée au format de présentation des informations à traiter ; (3) la charge cognitive pertinente, qui renvoie aux processus d'élaboration des connaissances. Ces charges ont un effet additif au cours de la situation d'apprentissage considérée.

• Charge cognitive intrinsèque

La charge cognitive intrinsèque (*intrinsic cognitive load*) est produite par la tâche elle-même, i.e. par les informations à traiter. Elle renvoie plus précisément au nombre d'éléments à traiter ainsi que leur degré d'interactivité (Sweller & Chandler, 1994). Ainsi, lorsqu'un grand nombre d'informations est à traiter, leur maintien temporel pendant le traitement visant à les intégrer ensemble en MLT risque de surcharger la MdT. Ceci se traduit alors par des performances moindres dans l'évaluation de la réalisation de la tâche d'apprentissage.

L'autre élément à considérer pour le niveau de la charge intrinsèque est le degré de liaison réciproque entre les informations à traiter. Lorsque des éléments, mêmes nombreux, ne sont pas liés entre eux, ils peuvent être traités les uns après les autres. En revanche, si la tâche nécessite de traiter plusieurs éléments liés les uns aux autres, l'apprenant sera contraint de

maintenir simultanément plusieurs informations en MdT pour comprendre le contenu informationnel dans son ensemble, ce qui entraînera une élévation de la charge intrinsèque. Il est à noter que si la charge cognitive intrinsèque est excessivement élevée du fait d'un niveau d'interactivité trop important entre les éléments d'informations, sans forcément qu'ils soient nombreux, l'individu ne pourra pas maintenir tous les éléments simultanément en MdT et la compréhension globale pourra alors être compromise, sans pour autant empêcher la mémorisation individuelle des éléments. Inversement, si les éléments sont mutuellement indépendants, la compréhension du contenu informationnel ne devrait pas être affectée par un niveau de charge trop élevé, suivant le nombre d'éléments à traiter.

Ce type de charge diminue avec les connaissances préalables des apprenants dans le domaine, la mobilisation de connaissances préalablement stockées entraînant une réduction du coût attentionnel sur certains traitements et donc une diminution globale de la charge liée à la tâche.

- **Charge cognitive inutile**

La charge cognitive inutile (*extraneous cognitive load*) renvoie au mode de présentation des informations : la manière dont les informations sont présentées a un impact sur le niveau global de la charge cognitive impliquée par une tâche d'apprentissage. En effet, les niveaux des charges d'origines intrinsèque et inutile forment additivement le niveau global de la charge cognitive liée une situation. Lorsqu'une tâche est complexe, cela signifie qu'un niveau élevé de charge cognitive intrinsèque contribue à saturer la MdT, rendant sa réalisation difficile. Cependant, en optimisant la présentation des informations, sans pour autant en modifier le nombre ou le degré d'interactivité entre les éléments (i.e. réduire le niveau de charge inutile sans modifier le niveau de charge intrinsèque), des améliorations concernant la qualité d'apprentissage du contenu peuvent être observées.

- **Charge cognitive pertinente**

Contrairement aux deux sources de charge cognitive précédentes, la charge cognitive pertinente (*germane cognitive load*) (Paas & van Merriënboer, 1994 ; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998) n'a pas d'impact négatif sur la réalisation de la tâche. Paas & van Merriënboer (1994) utilisent dans leurs expériences des mesures subjectives du niveau de charge cognitive générale ressentie par les apprenants et observent que, dans certaines conditions, les participants ressentaient un niveau de charge cognitive plus grand que dans

d'autres conditions et obtenaient en parallèle de meilleures performances en termes de réalisation de la tâche. Ces chercheurs ont alors envisagé l'existence d'une autre source de charge cognitive, la charge pertinente, qui renvoie aux efforts engagés pour les processus directement liés à l'apprentissage, comme l'élaboration de connaissances ou la résolution de problèmes.

1.2.b Théorie augmentée de la charge cognitive (Gerjets & Scheiter, 2003)

La théorie de la charge cognitive formulée par Gerjets et Scheiter (2003) est dite « augmentée » par rapport à la théorie de Sweller (1999) car tout en conservant les trois sources de charge cognitive décrites par Sweller, elle prend aussi en considération la notion de « contrôle de l'apprenant » sur son épisode d'apprentissage. Cette théorie est ainsi plus particulièrement adaptée aux situations d'apprentissage hypertexte.

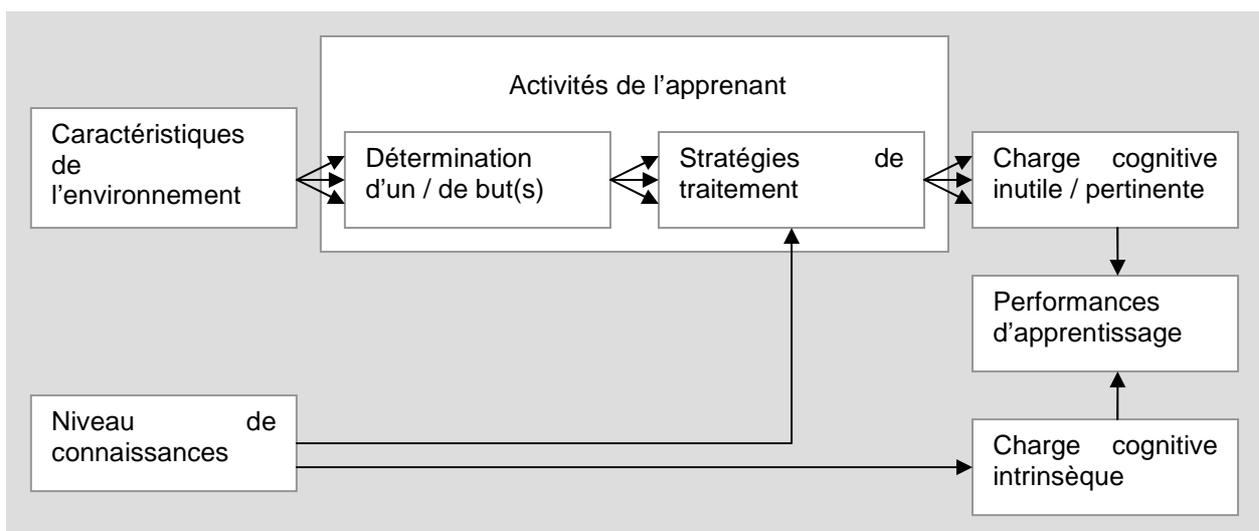


Figure 26: Représentation graphique du modèle de charge cognitive augmenté (notre traduction, Gerjets & Scheiter, 2003)

Un des reproches fait à la théorie de la charge cognitive est son niveau d'explication trop général (*e. g.* Dixon, 1991 ; Goldman, 1991). En effet, celle-ci postule un but d'apprentissage unique qui est d'approfondir l'élaboration de connaissances et postule que de mêmes caractéristiques de l'environnement d'apprentissage induisent une même activité de l'apprenant et donc un même pattern de charge cognitive inutile et pertinente. Aucune variabilité dans l'activité de l'apprenant face aux caractéristiques de l'environnement d'apprentissage n'est considérée. La théorie augmentée de la charge cognitive se démarque

sur ce point en avançant l'idée que la relation entre les caractéristiques de l'environnement et la charge cognitive est médiatisée par les activités métacognitives et cognitives de l'apprenant, i.e. la détermination d'un ou plusieurs buts d'apprentissage et la mise en place de stratégies de réalisation de la tâche.

Des apprenants face à un même environnement d'apprentissage et face à une même consigne peuvent différer dans leurs activités de réalisation de la tâche, car les activités de l'apprenant ne dépendent que partiellement des caractéristiques de l'environnement. Dans une situation d'apprentissage hypertexte, l'environnement peut être exploré par différents parcours et la flexibilité des environnements hypermédias peut induire différents buts de consultation. Dans le cadre déterminé par les contraintes de l'environnement d'apprentissage, la sélection d'une stratégie de traitement dépend à la fois des buts déterminés par l'apprenant, de ses connaissances préalables dans le domaine ou encore d'un calcul par l'apprenant d'un ratio concernant les différentes stratégies envisageables entre le coût, en termes de ressources cognitives, et le bénéfice, en termes d'acquisition de connaissances. Donc, dans une même situation d'apprentissage caractérisée par une structure de texte, des fonctions de navigation et / ou la présence d'une consigne concernant les modalités de réalisation de la tâche, les apprenants peuvent déterminer différents buts d'apprentissage, pour la réalisation desquelles ils peuvent mettre en place différentes stratégies de traitement, et à chaque stratégie est associée un pattern de charge cognitive pertinente et inutile. Les performances des apprenants concernant la réalisation de la tâche dépendent ainsi du fait qu'ils saisissent ou non les opportunités offertes par les caractéristiques de l'environnement de s'engager dans des traitements pertinents. Dans l'éventualité contraire, le coût du contrôle de l'environnement d'apprentissage dépasserait les bénéfices d'apprentissage : la demande additionnelle de ressources cognitives relative au séquençage et au contrôle du contenu, augmenterait la charge cognitive inutile, au détriment de la charge cognitive pertinente, ce qui entraverait l'acquisition de connaissances.

Au regard des situations d'apprentissage hypertextuelles, un apprenant doit traiter l'information à l'intérieur de chaque nœud et comprendre les relations entre ces nœuds qui constituent l'environnement hypertexte. Concernant les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables, les décisions prises concernant la stratégie de consultation adoptée sont souvent coûteuse pour l'apprenant en termes de charge cognitive. Deux cas de figure sont envisageables pour expliquer les difficultés de ces apprenants en situation d'apprentissage hypertexte : (1) ils adoptent une stratégie de consultation peu coûteuse, du

type « consultation linéaire », qui peut entraver la construction d'un modèle de situation cohérent et se révèle donc peu pertinente pour la tâche d'apprentissage ; (2) ils adoptent une stratégie de consultation coûteuse, consistant à utiliser les fonctions de navigation proposées pour naviguer de façon non-linéaire dans l'environnement, et les ressources réquisitionnées par le contrôle du contenu et du séquençage ne peuvent plus être allouées aux traitements cognitifs nécessaires au traitement du contenu informationnel. Ces deux situations ici évoquées renvoient aux problèmes de désorientation et de surcharge cognitive inhérents à l'apprentissage des documents hypermédias. Dans la section suivante, seront examinées les conséquences des stratégies de consultation employées par les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine sur leur pattern de charge cognitive pertinente / inutile.

1.3 Activité d'apprentissage et activité de navigation : quelle répartition des ressources cognitives ?

Selon Destefano et Lefevre (2007), la demande cognitive d'un document hypertexte excède celle d'un texte linéaire et les problèmes de lecture hypertexte peuvent être causés par la charge cognitive imposée par l'utilisation des liens. Ils supposent alors que la charge cognitive peut être influencée directement, lors du processus de sélection des liens quand le lecteur rencontre un lien et doit décider de le suivre ou non, et / ou indirectement durant la lecture quand le lien suivi mène à un texte non lié sémantiquement et par conséquent à une interruption du processus de compréhension. Ainsi, font-ils l'hypothèse que le développement du modèle mental serait meilleur dans les structures hypertextes dans lesquelles le choix des liens à suivre serait restreint aux nœuds liés sémantiquement. Gall et Hannafin (1994) partagent cette idée selon laquelle la navigation peut devenir difficile à mesure que le nombre d'options de navigation est important car cela augmente les risques de désorientation dans l'hyperdocument, ainsi qu'Otter et Johnson (2000) qui, interrogeant des lecteurs sur les causes de leur désorientation dans les systèmes hypertextes, obtiennent dans les réponses les plus fréquentes « le nombre de liens / options de navigation proposés » dans le document.

Dans cette perspective, Zhu (1999) étudie l'apprentissage d'un document hypermédia selon qu'il est proposé aux apprenants de choisir un lien à suivre dans un ensemble de 3-7 liens ou 8-12 liens, inclus dans chaque nœud du document. Il est observé que les performances d'apprentissage, évaluées par un QCM et la rédaction d'un résumé, sont meilleures quand le document hypermédia ne propose que 3-7 liens que lorsqu'il en propose 8-12. De plus,

lorsque le document propose moins de nœuds, les apprenants ont une évaluation plus positive du document hypermédia. De même, Ignacio, van Oostendorp et Puerta (2009) manipulent dans leur étude le nombre de liens proposés à l'apprenant, soit 3 ou 8, ainsi que la présence d'un soutien à la navigation, soit avec ou sans suggestions de liens hypertextes à suivre. La charge cognitive est mesurée par un temps de réaction à une tâche secondaire. Les résultats ne montrent pas d'augmentation de la charge cognitive quand plus de liens sont présentés, ni de réduction de la charge cognitive lorsqu'un soutien à la navigation est offert. Cependant, l'ordre de lecture influence la charge cognitive des apprenants : les participants qui sélectionne un ordre de lecture cohérent ont un temps de réaction moindre, *i. e.* une charge cognitive moindre, et obtiennent de meilleures performances d'apprentissage au niveau situationnel.

Antonenko et Niederhauser (2010) ne manipulent pas le nombre de liens parmi lesquels choisir le nœud suivant à consulter, mais la présence d'informations concernant le contenu de chaque nœud comme une aide au choix. Dans cette expérience, les lecteurs doivent apprendre quatre hypertextes, parmi lesquels deux disposant d'une aide au choix. Celle-ci consiste en un pop-up qui s'ouvre dès que le lecteur passe la souris sur un lien emboîté dans le texte, et dans lequel est présenté un bref résumé du contenu du nœud lié. L'utilisation des liens emboîtés est le seul moyen de navigation inclus dans les hypertextes. En présence de cette aide au choix, les auteurs observent, grâce à l'enregistrement des ondes du cerveau par électroencéphalogramme, une réduction de la charge cognitive lors du traitement des hypertextes, et de meilleures performances à l'épreuve de rappel de la structure du domaine et au post-questionnaire de connaissances. Concernant les comportements de navigation, il est à noter que les apprenants en condition d'aide au choix reviennent sur chacun des liens emboîtés contenus dans l'hypertexte afin d'en revoir le résumé avant de clore l'épisode d'apprentissage, comportement non-observé pour ces mêmes apprenants en condition « sans aide au choix ». Ces résumés soutiendraient le développement du modèle de situation en fournissant une indication au lecteur sur la pertinence de ce nœud par rapport au modèle de situation actuel. Donc, selon ces auteurs, l'ajout de ces informations et les stratégies de consultation employées par les lecteurs en conséquence de ces informations, réduirait la charge cognitive inutile, et par conséquent augmenterait la charge pertinente.

Schnotz et Heiss (2009) font l'hypothèse que le traitement des aides à la navigation peut engendrer une source de charge cognitive telle que si les connaissances préalables de l'apprenant sont faibles, alors le traitement de ces aides vont interférer avec le traitement et la compréhension des informations. Ils soulignent le paradoxe suivant : les apprenants ayant le

moins de connaissances préalables ont plus besoin de soutien que les apprenants ayant des connaissances préalables, mais ce sont ces derniers qui en tirent le plus de bénéfices. Ils manipulent dans leur expérience le niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine d'apprentissage et le contrôle de l'aide à la navigation : soit l'aide est imposée par le système, soit la présence de l'aide est optionnelle. Ce soutien à la navigation prend la forme d'objectifs d'apprentissage déterminés pour chaque nœud d'informations et de questions orientées sur les points principaux du nœud. Il apparaît une interaction significative entre les deux facteurs : les apprenants ayant peu de connaissances préalables obtiennent de meilleures performances de compréhension lorsque l'aide est optionnelle et les apprenants ayant des connaissances préalables obtiennent de meilleures performances en condition d'aide imposée par le système. En condition « d'aide imposée », bien que celle-ci soit faite pour aider les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables, son traitement entrave l'apprentissage du contenu informationnel.

Amadiou, van Gog, Paas, Tricot et Mariné (2009) incluent dans un document hypermédia concernant le rétrovirus HIV une carte conceptuelle soit en réseau, soit hiérarchique. Pour les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine, la carte hiérarchique entraîne un gain de connaissances conceptuelles plus important et l'effort mental investi par ces apprenants pour répondre au post-test est moins important. De plus, les apprenants ne disposant que de peu de connaissances antérieures expriment une désorientation perçue moindre en condition de « carte hiérarchique ». Concernant leurs comportements de navigation, l'analyse des mouvements oculaires révèle une durée de fixation plus longue en présence d'une carte hiérarchique et un pattern de navigation systématique. Ces résultats peuvent être interprétés sous l'angle de la théorie augmentée de la charge cognitive. L'objectif des apprenants étant de comprendre les informations délivrées dans le document, ils ont choisi une stratégie de consultation consistant à suivre l'ordre établi par la carte hiérarchique. Cet ordre correspond à un ordre cohérent pour la construction du modèle de situation. L'effort mental investi dans la compréhension de la structure du domaine et donc dans la navigation est moindre, et plus de ressources peuvent être allouées aux traitements des informations contenues dans chaque nœud. Les caractéristiques de l'environnement ont donc eu un effet sur le pattern de charge cognitive pertinente / inutile, effet médiatisé par le choix d'une consultation systématique. Niederhauser, Reynolds, Salmen et Skolmoski (2000) obtiennent des résultats dont l'interprétation peut être similaire. Dans leur expérience, les apprenants doivent consulter un hypertexte relatif à deux théories importantes en psychologie. La structure de l'hypertexte est hiérarchique et le document comprend des liens permettant de

comparer des concepts dans chacune des théories et une carte des thèmes permettant au lecteur de voir les titres des différents nœuds et d'y accéder directement par un clique. L'examen des comportements de navigation met en évidence que peu d'apprenants ont utilisé la carte comme outil de navigation mais plutôt comme une vue d'ensemble du domaine et ont tendance à l'examiner en début ou en fin de l'épisode d'apprentissage. Les apprenants qui ont fait le choix de ne pas utiliser la carte pour naviguer ont lu le texte de façon systématique et séquentielle, i.e. de haut en bas et de gauche à droite. Cette stratégie de lecture minimiserait leur utilisation de ressources cognitives associées à la construction d'un parcours individualisé à travers le texte et une analyse de régression laisse à voir que cette méthode est efficace pour l'apprentissage. En lecture linéaire, les apprenants n'ont pas à penser à ce qu'il faudrait lire ensuite. Lors de l'utilisation de l'outil de comparaison, les bénéfices de ce traitement « plus profond » qu'auraient dû faire les apprenants sont annulés par l'augmentation de la charge cognitive associée à la navigation.

La caractérisation d'un pattern de charge cognitive associé à une tâche de lecture-compréhension est une chose complexe, car ce pattern dépend des buts d'apprentissage déterminés par l'apprenant lui-même et des stratégies de consultation qu'il met en place pour atteindre ces buts. Ainsi, le traitement d'une aide à la navigation peut être coûteuse pour un apprenant ayant peu de connaissances préalables dans le domaine, excepté s'il modifie pertinemment ses comportements de navigation, en utilisant cette aide comme moyen de révision des informations par exemple. Lorsque la structure de l'hypertexte est cohérente, la stratégie de lecture systématique employée par un apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine lui permet de réduire le coût cognitif associé à la navigation et à la construction d'un modèle mental cohérent, et plus de ressources cognitives peuvent être allouées au traitement des informations contenues dans chaque nœud. Donc l'analyse d'une situation d'apprentissage hypermédia demande de considérer en interaction le niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine, les caractéristiques de l'environnement et l'activité métacognitive des apprenants.

2 Hypothèses

L'expérience 5 a donc pour objectif, outre de répliquer les résultats antérieurs concernant l'effet positif de la contrainte temporaire du séquençage sur les performances d'apprentissage, l'activité métacognitive et le ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage,

de déterminer quelle est la répartition des ressources cognitives entre les activités de navigation et d'apprentissage des informations, selon le niveau de contrôle offert dans l'environnement hypermédia.

Dans l'étude 4, il était observé que l'activité métacognitive mise en place par les apprenants en condition de « contrôle limité » leur permettait de déterminer une stratégie de consultation pertinente, à savoir une stratégie de type « révision ». Ainsi, lorsque le séquençage est contraint, les apprenants obtiennent de meilleures performances de compréhension que lorsque le séquençage est libre. Il est donc supposé que l'activité de navigation des apprenants en condition de « contrôle limité » serait moins coûteuse en termes de ressources cognitives et leur première consultation des nœuds dans un ordre cohérent faciliterait le repérage des relations entre les nœuds d'informations, ce qui leur permettrait d'allouer plus de ressources cognitives au traitement des informations incluses dans les nœuds. A l'inverse, en situation de « contrôle libre », l'activité de navigation mobiliserait de nombreuses ressources cognitives qui ne seraient plus disponibles pour le traitement des informations.

Il existe de nombreuses méthodes de mesure de la charge cognitive, qu'il est possible de catégoriser selon deux dimensions (Brünken, Plass & Leutner, 2003) : le caractère objectif / subjectif de la mesure et le type de relation causale entre le phénomène observé et la charge cognitive (cf. Tableau 26).

Tableau 26: Catégorisation des méthodes de mesure de la charge cognitive (Brünken, Plass & Leutner, 2003)

<i>Caractère objectif de la mesure</i>	<i>Relation causale</i>	
	Indirecte	Directe
Subjective	Auto-estimation de l'effort mental investi	Auto-estimation du niveau de stress Estimation du niveau de difficulté du matériel
Objective	Mesures physiologiques (e. g. rythme cardiaque) Mesures comportementales (e. g. erreurs de navigation, temps de réalisation de la tâche), Mesures de performances d'apprentissage	Mesures de l'activité cérébrale Performance à une double-tâche / triple-tâche

Dans l'étude ici présentée, un protocole de triple tâche est utilisé afin d'obtenir une mesure objective de la charge cognitive induite par la tâche d'apprentissage. En plus de la tâche principale d'apprentissage, l'apprenant doit réaliser une tâche secondaire consistant à réagir le plus rapidement possible à l'audition d'un signal sonore. Etant donné que les ressources cognitives sont limitées, plus la tâche principale est coûteuse en ressources, plus le temps de réaction à la tâche secondaire est long. Dans le cas d'une triple tâche, l'apprenant se livre à une rétrospection dirigée après la tâche secondaire, ce qui consiste à expliciter « l'action » qu'il était alors en train de réaliser au moment de l'audition du signal. Dans cette étude, la rétrospection dirigée permet de distinguer si la charge cognitive déduite du temps de réaction à la tâche secondaire est à attribuer à l'activité d'utilisation de l'environnement hypermédia ou à l'activité de traitement du contenu informationnel. En dépit du caractère quelque peu « intrusif » de cette méthode, des travaux concernant l'écriture montrent que la tâche principale n'en est pas affectée (Piolat & Olive, 2000).

L'hypothèse suivante est donc formulée :

H1 : En situation de triple tâche, concernant le traitement des fonctions de navigation, les apprenants en condition de « contrôle limité » réaliseraient des temps de réaction moindres par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». A l'inverse, concernant le traitement du contenu informationnel, les apprenants en condition de « contrôle limité » réaliseraient des temps de réaction plus importants par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ».

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Trente-cinq étudiants, 7 garçons et 28 filles en Licence 1 de psychologie à l'Université Rennes II, participent à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 18.6 ans ($SD = 0.8$). Leur participation s'est faite sur la base du volontariat.

Aucun des participants à cette expérience n'a pris part auparavant à une expérience portant sur le thème de la perception des couleurs. Seules les données des apprenants ne disposant que de peu / pas de connaissance antérieures dans le domaine de la perception des couleurs sont prises en compte dans les analyses statistiques. Aussi, les données des participants

obtenant 50% ou plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances ne sont-elles pas conservées.

3.2 Matériel expérimental

L'environnement servant de support d'apprentissage est le même que celui utilisé dans l'expérience précédente, à savoir un document hypermédia de 23 pages dont une page de consigne, comprenant des informations écrites, des illustrations et / ou des graphiques. Comme dans les études précédentes, chaque nœud d'informations ne comprend qu'une seule page, sans besoin de barre de défilement pour consulter toutes les informations comprises dans chaque nœud.

Le niveau de contrôle offert à l'apprenant est manipulé : soit le contrôle est « libre », et l'apprenant peut accéder aux nœuds d'informations dans l'ordre qu'il souhaite, soit le contrôle est « limité », ce qui signifie que le séquençage du document est contraint dans un premier temps, jusqu'à visionnage complet du document. Ensuite, l'apprenant est libre d'utiliser le sommaire et / ou les fonctions de contrôle afin de consulter à nouveau un / des nœuds d'informations selon ses besoins estimés.

L'objectif de consultation reste le même pour tous, quel que soit le niveau de contrôle offert : acquérir autant de connaissances que possible dans le domaine de la perception des couleurs, en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances.

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine

Le *pré-questionnaire de connaissances* est identique à celui utilisé dans les études antérieures, à savoir un questionnaire comprenant 6 questions ouvertes relatives à la perception des couleurs et une coupe de l'œil à légender. Un point est accordé pour toute réponse / légende correcte. En cas de réponse incorrecte ou incomplète, ou de légende erronée, aucun point n'est accordé. Ce pré-test permet de confirmer a posteriori que les apprenants ne disposent pas ou de peu de connaissances antérieures dans le domaine d'apprentissage.

3.3.b Charge cognitive

Une *triple tâche* est utilisée, comparable à celle utilisée par Kellogg (1987, 1988) afin de mesurer la charge cognitive induite par les activités d'apprentissage des informations et d'utilisation de l'environnement hypermédia. En plus de sa tâche principale d'apprentissage des informations, l'apprenant doit réagir le plus vite possible à l'audition de stimuli sonores, et, avant de reprendre sa tâche principale, doit signifier l'action qu'il était alors en train de réaliser lors de l'audition du stimulus à l'aide d'une grille de codage. Cette catégorisation des actions interrompues permet d'associer à chaque temps de réaction le processus qui a été interrompu, à savoir l'apprentissage des informations ou l'utilisation du document.

La présentation des stimuli est réalisée grâce au logiciel E-Prime. Lors de l'apprentissage, lorsque l'apprenant entend un signal sonore, il a pour consigne d'appuyer le plus rapidement possible sur la barre « espace » du clavier situé devant lui, de la main opposée à celle qu'il utilise pour manipuler la souris de l'ordinateur (dans son protocole de triple tâche, Kellogg demande aux participants de réagir aux stimuli de leur main non dominante ; or, souvent, les gauchers utilisent la souris de l'ordinateur de la main droite, donc de leur main non dominante). Immédiatement après l'appui, l'apprenant doit cocher dans une grille l'activité qu'il était en train de réaliser lors de l'audition du signal, parmi un ensemble de 10 activités (cf. Annexe 15). Parmi ces activités, 5 sont liées à l'apprentissage des informations et 5 sont liées à la navigation dans les informations.

Avant la consultation du document hypermédia, le participant est soumis à une série de 10 stimulations sonores, espacées de 15 secondes, afin de calculer un temps de réaction moteur de base. Les deux premiers temps de réaction, considérés comme des essais, ne sont pas pris en compte dans ce calcul. Lors de la consultation, 20 signaux auditifs sont présentés, à différents intervalles de temps compris entre 10 secondes et 60 secondes. Les temps de réaction, en ms, séparant les présentations du stimulus auditif et les appuis sont enregistrés.

Deux temps de réaction pondérés moyens sont calculés. Ces temps sont calculés à partir de la moyenne des différences entre le temps de réaction pendant l'activité et le temps de réaction moteur de base recueilli préalablement. Sont ainsi obtenus un temps de réaction pondéré moyen lié à l'activité d'apprentissage des informations et un temps de réaction moyen pondéré lié à l'activité de navigation.

3.3.c Ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Ce *questionnaire subjectif* visant à évaluer le ressenti de l'apprenant vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage comprend trois facteurs : (1) un facteur de contrôle perçu, dont les items renvoient aux trois types de contrôle impliqués par les environnements hypermédias ; (2) un facteur de charge cognitive perçue, qui renvoie à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant pense avoir fourni pour comprendre l'information et du degré de difficulté ressenti par l'apprenant lors de la manipulation de l'environnement ; (3) un facteur de désorientation conceptuelle, faisant référence aux difficultés ressenties par l'apprenant lors de sa navigation dans le contenu informationnel du document hypermédia..

Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. Les apprenants doivent se positionner pour chaque item sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.d Questionnaire d'activité métacognitive perçue

Le *questionnaire d'activité métacognitive déclarée* est utilisé afin d'obtenir pour chaque apprenant trois évaluations : (1) un niveau de planification perçue, (2) un niveau perçue de surveillance de la progression vers le but, (3) un niveau perçu d'utilisation déclarée de stratégies. Bien que certaines études établissent que les apprenants ne sont pas capables de rapporter précisément leur fréquence d'utilisation de processus métacognitifs par rapport à leur utilisation réelle (*e. g.* Cromley & Azevedo, 2006), il est observé dans l'étude 4 une corrélation entre les processus déclarés postérieurement à l'épisode d'apprentissage dans le questionnaire d'activité métacognitive et lors du protocole verbal différé. Ce questionnaire est donc à nouveau utilisé comme évaluation de l'activité métacognitive mise en place par l'apprenant.

Le questionnaire comprend 13 items. Chaque item se présente sous la forme d'une affirmation envers laquelle les apprenants doivent se positionner. Le mode de réponse consiste en une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.e Questionnaire de connaissances

Le *questionnaire de connaissances* administré en fin de passation, identique à celui utilisé dans les études antérieures, comprend 7 questions ouvertes de type « paraphrase » et 7 questions ouvertes de type « inférence ». Ce questionnaire est corrigé par un seul correcteur, en aveugle. A chaque bonne réponse est attribuée 1 point ; pour toute réponse incomplète ou erronée, aucun point n'est attribué.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle comprenant 4 box, dans chacun desquels se trouve un poste informatique, comprenant un écran 17 pouces, une souris et un clavier, et un casque audio. Les passations sont donc semi-collectives. Dans un premier temps, les participants répondent à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à leur âge, leur genre et leur cursus universitaire antérieur éventuel. Une fois ces premières questions remplies, ils complètent le pré-questionnaire de connaissances dans le domaine de la perception visuelle.

La passation commence par une phase dite « d'entraînement » à la réaction rapide. Les apprenants se munissent chacun de leur casque et reçoivent pour consigne d'appuyer le plus rapidement possible sur la barre espace du clavier dès qu'ils entendent un signal sonore, et cela de la main avec laquelle ils n'utilisent pas la souris d'ordinateur.

Suite à cette phase d'entraînement, l'expérimentateur expose aux apprenants le principe de la triple tâche et distribue à chaque apprenant la grille de codage afin de se familiariser avec celle-ci avant l'épreuve. La consultation du document ne commence qu'une fois assuré que tous les apprenants ont compris le déroulement de l'expérience (la consigne donnée à l'oral par l'expérimentateur est toutefois présentée à nouveau dans la première page du document d'apprentissage). Une fois que les participants estiment avoir atteint leur objectif d'apprentissage, ils ferment le document et font signe à l'expérimentateur qui ferme à son tour les applications relatives à la présentation des stimuli sonores.

Les questionnaires subjectifs sont alors fournis aux apprenants. Ils complètent le questionnaire d'activité métacognitive perçue puis le questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage. Enfin, les apprenants complètent le questionnaire de connaissances.

Le temps moyen de passation est d'environ 45 minutes (plus ou moins 10 minutes).

4 Résultats

4.1 Analyse des performances d'apprentissage

Le test d'homocédasticité de Levene indique que les variances des scores au post-questionnaire de connaissances sont homogènes, $F < 1$ pour chacun des scores. Une analyse de variance multiple est donc utilisée.

S'il n'apparaît pas de différence significative entre les deux niveaux de contrôle concernant le score aux questions de paraphrase, $F(1, 34) = 1.351$, $MSE = 1.34$, $p = NS$, en revanche, les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent des performances de compréhension significativement meilleures que les apprenants en condition de « contrôle libre » : $F(1, 34) = 6.663$, $MSE = 1.11$, $p = .01$.

Tableau 27: Scores au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert

Conditions	Paraphrase			Inférence	
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Contrôle libre	17	3.82	1.1	2.47	1.1
Contrôle limité	18	4.28	1.2	3.39	.9

Note : le score maximum est de 7 pour les questions de paraphrase et d'inférence.

4.2 Analyse des performances à la triple tâche

Le test d'homocédasticité de Levene ne laisse pas apparaître d'hétérogénéité significative des variances des temps de réaction à la triple tâche, $F < 1$ pour chacun des temps de réaction.

L'analyse de variance multiple ici utilisée met en évidence une différence significative concernant le temps de réaction moyen pondéré lié au processus de navigation, $F(1, 34) = 3.89$, $MSE = 98.61$, $p = .05$.

Tableau 28: Temps de réaction moyens pondérés (en ms) selon le niveau de contrôle offert

Conditions	N	TR pondéré Processus d'apprentissage		TR pondéré Processus de navigation	
		M	SD	M	SD
Contrôle libre	17	89.93	36.4	91.15	33.9
Contrôle limité	18	98.64	44.5	70.2	28.9

Concernant le traitement des fonctions de navigation, les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent un temps de réaction pondéré significativement meilleur à celui obtenu par les apprenants en condition de « contrôle libre ». En revanche, les groupes ne se différencient pas significativement concernant le temps de réaction moyen pondéré lié au processus d'apprentissage, $F(1, 34) = 4.4$, $MSE = 162.44$, $p = NS$.

4.3 Analyse de l'activité métacognitive perçue

Au regard du test d'homocédasticité de Levene, les variances des niveaux perçus au questionnaire d'activité métacognitive sont homogènes, $F < 1$ pour chacun des niveaux perçus. Une analyse de variance multiple est donc conduite.

Conformément à nos attentes, les apprenants en condition de « contrôle limité » estiment mettre en place plus de processus de planification, $F(1, 34) = 4.409$, $MSE = 1.123$, $p = .03$, et de processus de surveillance de l'avancée vers l'objectif, $F(1, 34) = 3.229$, $MSE = 1.988$, $p = .042$. En revanche, les apprenants en condition de « contrôle libre » et en condition de « contrôle limité » ne se différencient pas significativement quant à leur niveau perçu d'utilisation de stratégies, $F(1, 34) = 3.023$, $MSE = 2.436$, $p = NS$.

Tableau 29: Niveaux perçus de l'activité métacognitive selon le niveau de contrôle de l'environnement hypermédia

Conditions	Niveau perçu de planification		Niveau perçu de surveillance		Niveau perçu d'utilisation de stratégies	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Contrôle libre	10.75	2.53	11.25	2.33	15	2.81
Contrôle limité	12.82	2.87	13.24	3.19	14.6	3.01

Note : Le score maximal est de 20 pour chaque facteur.

4.4 Analyse du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Le test d'homocédasticité de Levene réalisé au préalable de l'analyse de variance multiple n'indique pas d'hétérogénéité significative des variances concernant les scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'apprentissage, $F < 1$ pour chacun des facteurs.

A l'instar de l'étude précédente, il apparaît que les apprenants en condition de « contrôle limité » expriment une charge cognitive perçue significativement moindre, $F(1, 34) = 4.45$, $MSE = 6.26$, $p = .023$, et expriment une désorientation conceptuelle moindre, $F(1, 34) = 6.819$, $MSE = 5.965$, $p = .01$, par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre ». De même, les deux groupes d'apprenants diffèrent significativement par rapport au facteur de contrôle perçu, $F(1, 34) = 3.65$, $MSE = 6.46$, $p = .047$. Les apprenants en condition de « contrôle limité » estiment avoir un contrôle de l'épisode d'apprentissage plus important.

Tableau 30: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage

Conditions	N	Charge cognitive perçue		Désorientation conceptuelle		Contrôle perçu	
		M	SD	M	SD	M	SD
Contrôle libre	17	11.2	2.66	9.1	2.6	12.05	2.7
Contrôle limité	18	9.62	2.42	5.4	2.2	14.4	2.28

Note : le score maximum est de 20 pour chaque facteur.

4.5 Analyse des stratégies de navigation

Au regard des stratégies employées par les apprenants, ceux placés en condition de « contrôle limité » adoptent de façon dominante une stratégie de type « révision » dans laquelle ils consultent le document linéairement une première fois, puis utilisent les fonctions de navigation afin de consulter à nouveau un ou plusieurs nœuds d'informations selon leurs besoins estimés. Les apprenants en condition de « contrôle libre » adoptent de façon dominante une stratégie de type « combinée ».

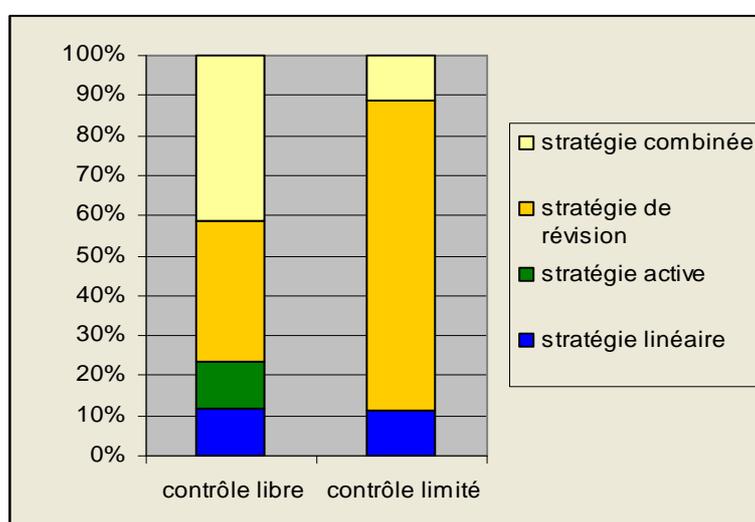


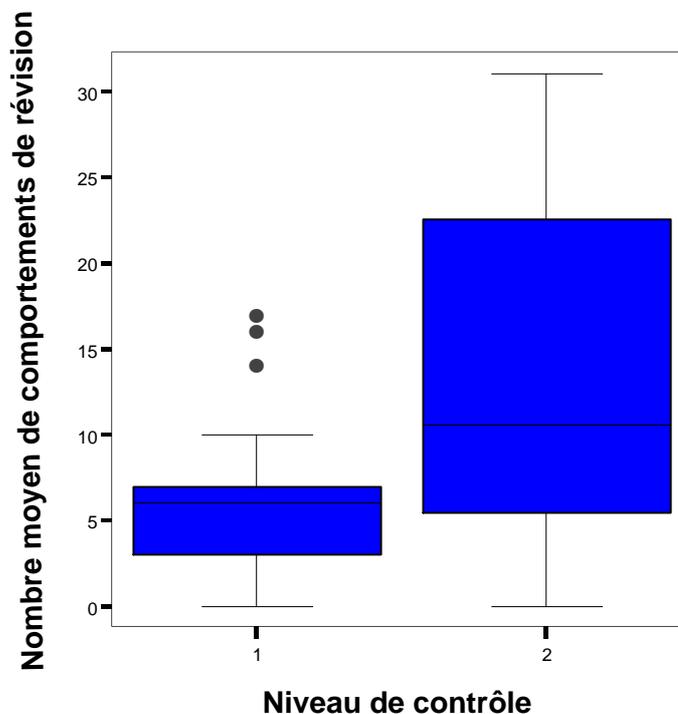
Figure 27: Répartition des apprenants dans chaque stratégie de navigation en fonction du niveau de contrôle

Un test de Khi-deux d'ajustement est utilisé afin de voir s'il existe une différence de répartition des apprenants entre les différentes stratégies selon le niveau de contrôle offert par l'environnement hypermédia. Les résultats indiquent que les apprenants se distribuent de

façon significativement différente entre les quatre stratégies déterminées selon que le séquençage soit contraint ou libre, $\chi^2 = 9.843$, $ddl = 3$, $p = .02$.

4.6 Analyse des comportements de révision

Le test d'homogénéité des variances de Levene laisse apparaître une hétérogénéité significative des variances des nombres moyens de comportements de révision, $F(1, 34) = 11.835$, $p < .05$. Par conséquent, le test non paramétrique de Mann-Whitney est utilisé pour traiter ces données. Celui-ci indique que les nombres moyens de comportements de révision varient significativement entre les groupes « contrôle libre » et « contrôle limité », $U[35] = 90.5$, $p = .031$.



Notes : 1 = condition « contrôle libre » ; 2 = condition « contrôle limité »

Figure 28: Nombre moyen de comportements de révision mis en place pendant l'apprentissage en fonction du niveau de contrôle

Les apprenants en condition de « contrôle limité » mettent en place significativement plus de comportements de révision, en comparaison aux apprenants en condition de « contrôle libre ».

5 Conclusion

Dans l'étude 4, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine mettaient en place significativement plus de processus de planification et de surveillance de l'avancée vers l'objectif en situation de contrôle limité par rapport aux apprenants en condition de contrôle libre. Cependant, cette activité métacognitive devrait avoir un coût en termes de ressources cognitives, limitant ainsi l'allocation de ressources pour le traitement du contenu informationnel. Or, cela ne paraît pas être le cas puisque dans les études antérieures, les apprenants en condition de « contrôle limité » obtiennent de meilleures performances de compréhension. Aussi un protocole de triple tâche est-il utilisé afin de déterminer comment les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine allouent leurs ressources cognitives entre l'activité de navigation et l'activité de traitement des informations.

Comme observé dans les études précédentes, lorsque le séquençage est contraint, les apprenants obtiennent de meilleures performances de compréhension, et expriment un contrôle perçu de leur épisode d'apprentissage plus important, une charge cognitive perçue et un sentiment de désorientation conceptuelle moindres par rapport à une situation d'apprentissage dans laquelle le séquençage est libre. Concernant notre hypothèse **H1**, celle-ci n'est qu'en partie confirmée. En effet, lors du traitement des outils de navigation, les apprenants en condition de « contrôle limité » ont un temps de réaction significativement inférieur à celui des apprenants en condition de « contrôle libre », conformément à notre hypothèse. Ainsi, la navigation demande de mobiliser moins de ressources cognitives lorsque le séquençage du document hypermédia est contraint, et cela même si les apprenants mettent en place plus de processus métacognitifs afin de réguler leur apprentissage et utilisent plus de comportements de navigation. Donc, comme observé par Miall et Dobson (2001) ou encore Zhu (1999), la liberté de décisions accordée aux apprenants lors d'un apprentissage hypermédia peut se révéler coûteuse en ressources cognitives par rapport à une situation d'apprentissage où le contrôle de l'apprenant sur son épisode d'apprentissage serait limité. Cependant, contrairement à nos attentes, lors du traitement du contenu informationnel, le temps de réaction des apprenants ne diffère pas significativement selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage.

Il était supposé, comme décrit dans la Figure 29 et la Figure 30, que la réduction des ressources allouées à la navigation en situation de « contrôle limité » augmenterait les ressources allouées au traitement du contenu informationnel, ce qui aurait expliquer en partie

les meilleures performances de compréhension dans ses conditions de consultation, mais les données ne corroborent pas cette hypothèse.

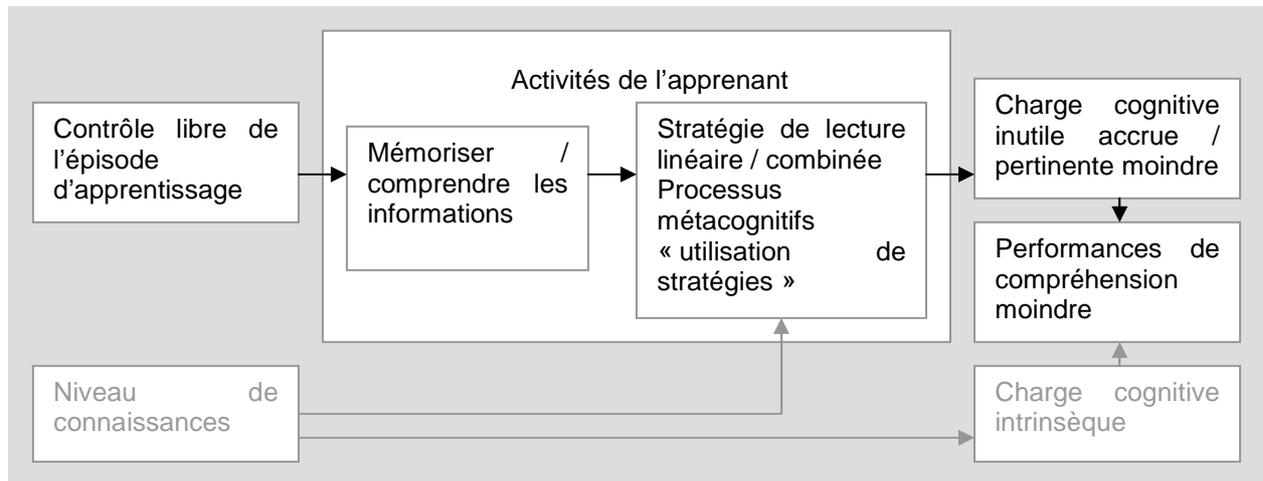


Figure 29: Représentation graphique de la charge cognitive supposée lors d'un apprentissage hypermédia dont le contrôle est libre

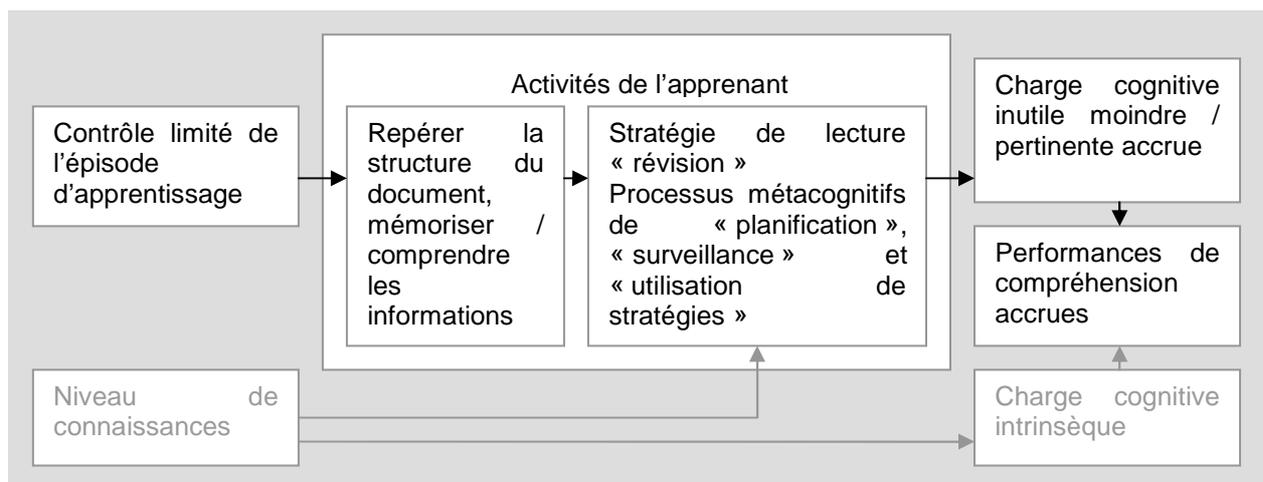


Figure 30: Représentation graphique de la charge cognitive supposée lors d'un apprentissage hypermédia dont le contrôle est limité

En admettant que les apprenants ne se différencient pas en termes de quantité de ressources allouées au traitement de contenu informationnel, il est à supposer qu'ils se différencient en termes d'efficacité des traitements appliqués. Les apprenants en condition de « contrôle limité » utilisent des processus métacognitifs de type « planification », « surveillance de l'avancée » et « utilisation de stratégies » et mettent en place une stratégie de lecture plus pertinente, à savoir une stratégie de type « révision ». L'activité de navigation des apprenants en condition de « contrôle limité » mobilise moins de ressources cognitives que celle des

apprenants en condition de « contrôle libre », tout en étant plus pertinente pour les objectifs d'apprentissage fixé. La navigation étant facilitée entre les nœuds d'informations, les apprenants repèrent l'organisation dans concepts dans le domaine, ce qui facilite leur élaboration d'un modèle mental cohérent. Ainsi, dans l'étude 2, était-il observé que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables se différenciaient significativement uniquement pour les questions d'inférence au niveau global et non à un niveau local. Donc les apprenants se différencient dans cette étude en termes de pertinence des traitements appliqués et non en termes de ressources mobilisées.

D'autres facteurs explicatifs peuvent être avancés, tels que l'absence de mesures d'empan de mémoire de travail en pré-consultation afin de créer des groupes homogènes concernant leur capacité de mémoire de travail ou encore le nombre restreint de participants à cette étude.

Cette étude comporte une autre limite en rapport à l'utilisation d'un paradigme de triple tâche. En effet, si Piolat et Olive (2000) avancent que l'utilisation d'une telle technique ne perturbe pas la production écrite, nous ne pouvons en dire de même concernant l'apprentissage d'un document hypermédia, faute d'avoir constitué de groupes « contrôle » auxquels comparer les performances d'apprentissage et les comportements de navigation.

Dans une situation hypermédia d'apprentissage, l'apprenant a pour objectif principal de traiter les informations contenues dans le document afin de se créer un modèle de situation cohérente et aussi complet que possible du domaine d'apprentissage. L'atteinte de cet objectif premier nécessite d'accomplir une activité secondaire de navigation entre les nœuds d'informations. Lorsque le contrôle de l'apprenant n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine sur son épisode d'apprentissage est limité, les gains de compréhension observés à l'issue de l'épisode ne sont pas à traduire en termes d'augmentation des ressources cognitives allouées à l'activité principale de traitement de l'information mais en termes de facilitation de la navigation qui permet de mettre en place une activité métacognitive et d'opérer des traitements plus pertinents.

Expérience 6 : Effet de modalité inversé lors d'un apprentissage hypermédia.

Résumé :

Entre les expériences 1, 2, 3, en passations collectives, et l'expérience 4, en passations individuelles, il apparaît un écart important concernant le score de compréhension et la charge cognitive perçue des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables. Or, ce passage de passations collectives à des passations individuelles correspond aussi à un changement important dans le matériel pédagogique : dans les premières études, les informations verbales étaient présentées à l'oral, tandis que dans les études suivantes, ces informations étaient présentées à l'écrit uniquement. Cette 6^{ième} expérience est donc menée afin de déterminer l'explication la plus vraisemblable concernant cette différence de performances. Le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et la modalité de présentation des informations sont manipulés. Les résultats mettent en évidence une meilleure compréhension des apprenants en condition de « contrôle limité et modalité écrite », ce qui permet d'interpréter cette différence de performances au cours de la série d'études en termes d'effet de modalité inversé.

1 Introduction

Un document d'apprentissage hypermédia est un document qui combine les techniques de présentation hypertextes, caractérisées par la non-linéarité des informations présentées, et les techniques de présentation multimédias, qui permettent d'intégrer en un seul document des sources d'informations de natures différentes. Si dans les études concernant les documents hypermédiés d'apprentissage, l'intérêt est souvent porté vers la charge cognitive induite par la navigation, il serait intéressant de questionner la charge cognitive induite par le traitement de sources d'informations de natures différentes, spécialement pour les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine. Ainsi, dans l'ensemble des études ici décrites, lorsque les résultats obtenus dans les études 1, 2 et 3 sont apposés aux résultats des études 4 et 5, il apparaît un écart de performance relativement important concernant les scores aux questions d'inférence, et parallèlement, un écart concernant l'évaluation de la charge cognitive perçue (cf. Tableau 31 et Tableau 32). En moyenne, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine obtiennent de meilleures performances de compréhension et une charge cognitive perçue moindre dans les dernières études, par rapport aux premières. Or, ce « basculement » de performances correspond à un changement essentiel dans la construction du matériel expérimental : dans les études 1 à 3, les informations verbales sont présentées à la fois oralement et visuellement, tandis que dans les études 4 et 5, les informations sont présentées uniquement visuellement. De plus, concernant l'étude 4, étude dans laquelle était observée la meilleure performance moyenne de compréhension, les apprenants ont réalisé l'expérience en passation individuelle. Il pourrait être supposé l'existence d'un biais de désirabilité sociale dans cette étude, les apprenants ayant souhaité se présenter sous un jour favorable à leur interlocuteur, *i. e.* l'expérimentateur, en s'investissant complètement dans la réalisation de la tâche.

Dans l'optique d'obtenir une validité globale à cet ensemble d'études, l'explication de cette différence de performances de compréhension doit être départagée, entre un effet de modalité inversé et un biais de désirabilité sociale. Aussi, l'intérêt de l'étude suivante se porte sur l'interaction possible entre le niveau de contrôle offert dans les environnements d'apprentissage hypermédiés et les différentes modalités de présentation des informations. Etant donné le manque de recherches antérieures relatives à cette thématique, le parti est pris de s'intéresser à cette interaction dans le domaine des apprentissages multimédias, en commençant par une description du modèle intégratif de la compréhension de textes et d'images de Schnotz (2005).

Tableau 31: Récapitulatif des performances d'apprentissage obtenues dans les 5 études précédentes par les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine

	ETUDE 1	ETUDE 2		ETUDE 3		ETUDE 4		ETUDE 5	
	Contrôle libre	Contrôle libre	Contrôle limité						
<i>N</i>	54	20	19	19	17	17	16	17	18
Score moyen aux questions de paraphrase	4.64	3.4	3.74	3.42	3.65	4.67	5.27	3.82	4.28
Score moyen aux questions d'inférence	2.65	2.15	3.26	2.16	3.06	3.13	4.33	2.47	3.39

Tableau 32: Récapitulatif des scores de charge cognitive perçue exprimés dans les 5 études précédentes par les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine

	ETUDE 1	ETUDE 2		ETUDE 3		ETUDE 4		ETUDE 5	
	Contrôle libre	Contrôle libre	Contrôle limité						
<i>N</i>	54	20	19	19	17	17	16	17	18
Evaluation de la charge cognitive perçue	11.32	12.9	11.37	12.24	11.15	8.17	5.95	11.2	9.62

1.1 Modèle intégratif de la compréhension de textes et d'images de Schnotz (2005)

Le modèle de la compréhension de textes et d'images formulé par Schnotz (2005) permet de modéliser l'activité d'apprentissage, notamment l'activité d'apprentissage multimédia, *i. e.* à partir de document présentant des sources d'informations de natures différentes. Ce modèle réfère donc à la compréhension simple ou combinée de texte écrit, de texte oral, d'image visuelle et / ou d'image sonore (définie comme une information auditive non verbale tel que le son produit par une porte qui claque).

Le modèle présenté intègre les concepts de systèmes mnésiques multiples (Atkinson & Shiffrin, 1971), de mémoire de travail aux capacités limitées (Baddeley, 1986) et de modèle mental (Johnson-Laird, 1983). Celui-ci est défini comme la représentation interne d'un objet, d'un système ou d'une situation. Le modèle mental est ici analogique, mais contrairement aux images visuelles, il est manipulable, incrémenté des informations issues de la mémoire à long terme et représente seulement les caractéristiques pertinentes.

Le modèle intégratif est ainsi basé sur les postulats suivants :

- La compréhension de texte et d'image prend place dans une architecture cognitive qui inclut une mémoire de travail à capacités limitées et des registres sensoriels spécifiques aux modalités d'entrée des informations.
- Les informations verbales et les informations imagées sont transmises à la mémoire de travail par deux canaux de traitement de capacités limitées de stockage et de traitement de l'information, la voie visuelle et la voie auditive
- Les informations traitées en mémoire de travail prennent place dans deux voies de représentation : la voie verbale et la voie imagée. Les informations provenant de textes écrits ou oraux sont traitées dans la voie verbale ; les informations issues des images visuelles ou des sons sont traitées dans la voie imagée.
- La compréhension de textes et d'images est un processus actif de formation de la cohérence. Dans la compréhension, les individus s'engagent dans la construction de structures de connaissances cohérentes à partir des informations verbales / imagées externes pertinentes et à partir de leurs connaissances préalables.

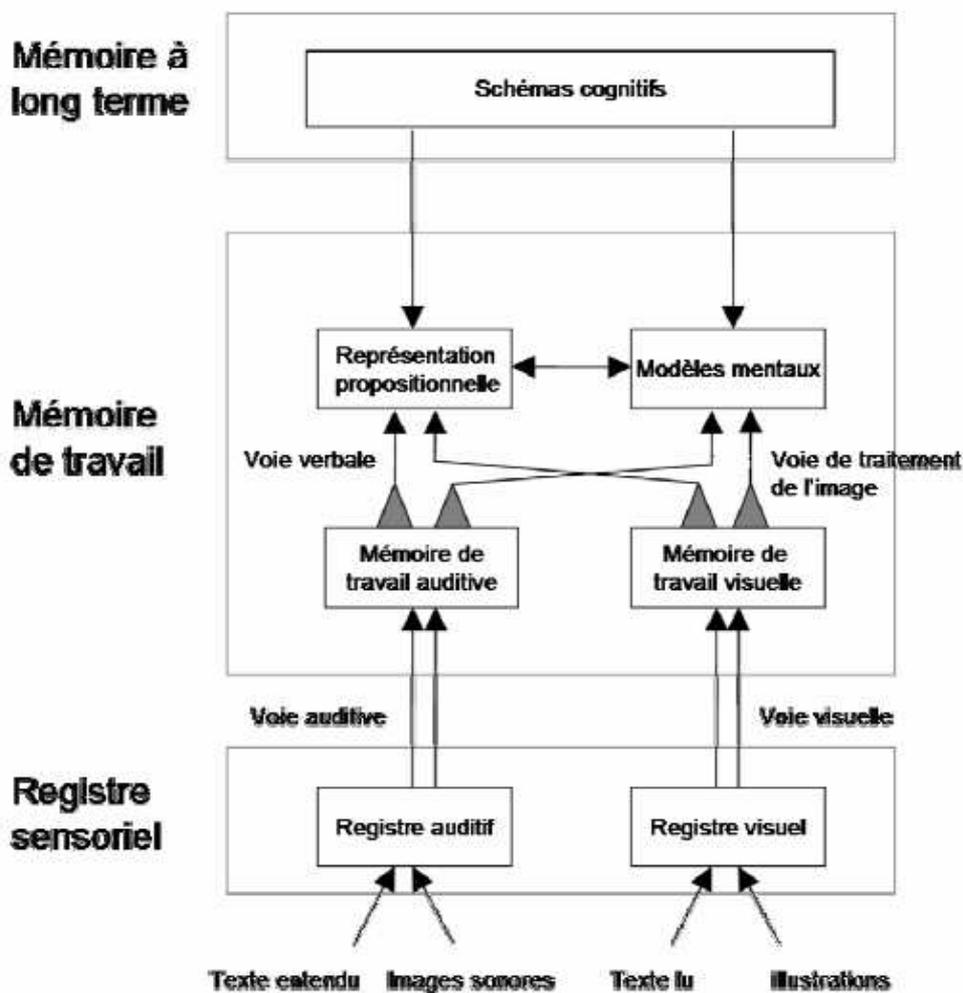


Figure 31: Modèle intégratif de la compréhension de texte et d'images (traduction d'après Schnotz, 2005)

Concernant la compréhension de texte, le modèle de Schnotz décrit plusieurs étapes de traitement. Lors de la lecture d'un texte, les graphèmes perçus entrent dans le registre sensoriel visuel et vont jusqu'à la mémoire de travail visuelle. Là, est construite une représentation de surface du texte. Les informations verbales sont sélectionnées par le filtre verbal (symbolisé par un triangle grisé, cf. Figure 31) et ces informations déclenchent en mémoire de travail la formation d'une représentation propositionnelle du texte et la construction ou la modification du modèle mental.

Dans le cas de l'écoute d'informations verbales, comme cela peut être le cas dans les documents multimédias présentant des commentaires oraux, les phonèmes entrent dans le registre auditif et sont transférés en mémoire de travail auditive. L'ensemble d'informations forme une représentation de surface du texte entendu puis le filtre verbal sélectionne

l'information pertinente en vue de la création d'une représentation propositionnelle. Dès lors, le traitement des informations est le même que lors de la compréhension d'un texte lu.

Concernant la compréhension d'une image visuelle (à distinguer d'une image sonore), l'image entre dans le registre visuel puis est transférée en mémoire de travail visuelle. Un filtre sélectionne alors les informations pertinentes pour la construction ou la modification du modèle mental.

Dans les trois cas ici présentés, les connaissances antérieures des apprenants concourent à la création de la représentation propositionnelle et du modèle mental.

Le traitement cognitif des informations sensorielles est soumis à plusieurs contraintes, notamment les capacités limitées de stockage et de traitement en mémoire de travail. La connaissance de ces contraintes peut fournir des indications quant à la conception de documents multimédias. En effet, apprendre un document multimédia est une tâche complexe pouvant amener à une surcharge cognitive, entravant ainsi la construction du modèle mental et donc la compréhension du document. Les études réalisées dans le domaine de l'apprentissage à partir de documents multimédias ont conduit à formuler un certain nombre de principes de présentation de l'information, dont le principe de modalité.

1.2 Principe de modalité

Le principe de modalité repose donc sur le postulat de l'existence de deux voies de traitement aux capacités limitées, l'une spécialisée dans le traitement des informations verbales et l'autre dans le traitement des informations imagées. Dans le cadre de l'apprentissage multimédia, le principe de modalité pourrait être défini par le fait que les individus apprennent mieux lorsque les éléments graphiques sont présentés avec des explications orales que lorsque les explications de ces mêmes éléments graphiques sont présentées à l'écrit. Ce principe implique que les deux sources d'informations ne peuvent être comprises isolément, et doivent être intégrées ensemble pour être comprises.

Le principe de modalité a été mis en évidence à de nombreuses reprises. Mousawi, Low et Sweller (1995) étudient dans une série d'expériences cet effet de modalité dans l'apprentissage de documents portant sur la résolution de problèmes de géométrie. Les études se déroulent en trois phases. Durant une première phase « d'explication », les élèves prennent connaissance de deux exercices expliqués, chacun suivi d'un exercice à résoudre : ces exercices correspondent à la seconde phase dite « d'acquisition ». Puis, dans une troisième

phase dite « de transfert », il est demandé aux élèves de résoudre un problème similaire à ceux présentés en phase d'acquisition et un second qui diffère de ceux déjà présentés. Les auteurs comparent deux formats de présentation des exercices : (1) une condition unimodale, dans laquelle les informations sont présentées sous forme d'un graphique et de son explication écrite ; (2) une condition bimodale, dans laquelle cette fois les explications sont présentées à l'oral. Ils observent alors, pendant la phase de transfert, une performance supérieure des apprenants en condition bimodale : présenter l'explication de la figure géométrique à l'oral amène à une meilleure compréhension. Ce type de résultats a été répliqué à de nombreuses reprises : concernant l'apprentissage d'un schéma électrique (Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 1997), concernant un document portant sur la fusion des solides (Kalyuga, Chandler & Sweller, 1999) ou encore l'apprentissage de la lecture de courbes de température (Leahy, Chandler & Sweller, 2003).

Selon le modèle intégré (cf. *supra*), le principe de modalité peut être en partie expliqué par le fait qu'un format de présentation bimodale permettrait d'éviter un partage d'attention entre les deux sources d'informations. Si un texte écrit et un élément graphique co-référencé sont présentés simultanément, soit l'apprenant regarde l'élément graphique, soit il lit le texte, et donc les informations provenant d'une seule des sources sont traitées à la fois. Puisque dans un apprentissage multimédia unimodal, toutes les informations doivent être traitées par la voie visuelle, qui a des capacités limitées, moins d'informations sont traitées en mémoire de travail en un temps donné en comparaison à une situation où les deux voies auditives et visuelles sont utilisées.

L'explication du principe de modalité va au-delà du fait d'éviter un partage attentionnel. Dans leur série d'expérience, Mousavi et ses collaborateurs (1995) observent que lorsque l'explication orale ou écrite est présentée avant la figure géométrique, alors le principe de modalité est le même. Lorsque l'image et les explications verbales, orales ou écrites, sont présentées successivement, un effet de modalité prédomine. De même, Moreno et Mayer (1999) présentent une animation concernant la formation des éclairs. La modalité de présentation des explications est manipulée, soit l'explication est présentée à l'oral, soit à l'écrit, ainsi que le moment de présentation de l'explication, soit l'explication est présentée simultanément ou consécutivement à l'animation. Ils observent uniquement un effet principal de la modalité de présentation des informations sur les performances d'apprentissage.

1.3 Effet de modalité et contrôle du rythme de présentation

Le principe de modalité peut être modulé selon les caractéristiques interindividuelles des apprenants ou encore la possibilité de contrôler le rythme de déroulement du document (pour une revue de littérature, Ginns, 2005).

Dans leur expérience, Tabbers, Martens et van Merriënboer (2004) notent que le rythme de présentation des informations dans les conditions unimodale et bimodale est décidé par le rythme de la bande sonore entendue en condition « audio-visuelle ». Or, une explication possible du principe de modalité observé dans ces expériences pourrait être que les apprenants en condition « audio-visuelle » utilisent plus efficacement leur temps de consultation, les apprenants pouvant regarder l'image tout en écoutant les explications, tandis que les apprenants de la condition « visuelle-visuelle » doivent dans le même laps de temps faire des allers-retours entre l'image et le texte. Dans leur interface multimédia, les auteurs ajoutent alors des boutons de contrôle, de type « page suivante » et « page précédente ». En condition bimodale, les apprenants disposent de deux boutons supplémentaires permettant de stopper ou mettre en pause la narration. Ainsi, tous les apprenants peuvent contrôler le rythme de présentation des informations. Les données recueillies sont, dans ces conditions, contraires à celles obtenues dans les études précédentes : les apprenants en condition bimodale ont de moins bonnes performances en termes de mémorisation des informations et de transfert des connaissances. En laissant donc le rythme de consultation sous le contrôle de l'apprenant, la supériorité du format bimodal par rapport au format unimodal disparaît. Ces résultats inverses à ceux trouvés dans les études précédentes s'expliqueraient par la possibilité alors offerte aux apprenants en condition « visuelle-visuelle » de lire à leur propre vitesse et de focaliser leur attention sur les différents éléments d'information, selon leurs besoins. En condition « explications à l'oral », les apprenants ne bénéficient pas de cette même flexibilité de consultation des informations, étant donné qu'il est plus difficile pour l'apprenant de retrouver une information dont il a besoin dans une bande sonore, par nature linéaire. De mêmes résultats sont observés par Dunsworth et Atkinson (2007) : ils n'observent pas de principe de modalité entre les formats de présentation « explications écrites », « explications orales » et « explications données à l'oral par un agent pédagogique animée ». Or, dans ces trois formats de présentation, l'apprenant a un contrôle de son épisode d'apprentissage grâce à des fonctions de type « avancer » à la page suivante ou encore « consulter à nouveau » la page actuelle. Gyselinck, Jamet et Dubois (2008), manipulant la modalité de présentation des informations verbales dans un document multimédia, n'observent pas non plus d'effet de modalité, ce qui pour les auteurs s'expliquent, en partie, par la possibilité donnée aux

apprenants de contrôler le rythme de présentation des informations. Pour leur part, Harskamp, Mayer et Suhre (2007) observent une interaction entre le temps de consultation et la modalité de présentation des informations lors d'un apprentissage multimédia durant lequel l'apprenant peut contrôler le rythme de consultation des informations et revoir certaines informations selon ses besoins : il n'apparaît pas d'effet de modalité concernant les questions de transfert lorsque l'apprenant a un temps de consultation supérieur au temps de consultation moyen, et inversement.

Gerjets, Scheiter, Opfermann, Hesse et Eysinck (2009) s'interrogent sur la possible application des principes de conception multimédias pour la production d'environnements hypermédias d'apprentissage. Dans leur expérience, ils comparent cinq formats de présentation d'un même document hypermédia, variant dans la nature des sources d'informations présentées : (1) informations écrites, (2) informations orales, (3) informations écrites et orales, (4) informations écrites et animations, (5) informations orales et animations. Les résultats obtenus ne mettent en évidence que peu de preuves de la validité de ces règles de conception pour la création d'environnements hypermédias puisqu'il n'est observé ni effet de modalité, ni effet multimédia mais uniquement un effet de redondance concernant les performances d'apprentissage.

Les environnements hypermédias offrant à l'apprenant plus de contrôle de l'épisode d'apprentissage comparés à des document multimédias, le choix de la nature des sources d'informations ne peut reposer sur les mêmes règles de conception dans les deux cas. En effet, le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage, la nature des sources d'informations et les caractéristiques individuelles des apprenants interagissent ensemble et ont un impact différencié non seulement sur les performances d'apprentissage mais aussi sur la charge cognitive induite par la situation d'apprentissage.

2 Hypothèse

Dans cette étude, est testée l'hypothèse que la différence de performances de compréhension et d'évaluation de la charge cognitive perçue, observée entre les premières études et les suivantes, s'explique par un effet de modalité inversé. Si tel est le cas, alors les apprenants devraient obtenir de moins bonnes performances de compréhension et une évaluation plus importante de la charge cognitive lorsque le contrôle de l'épisode d'apprentissage est libre et les informations verbales présentées à l'oral. Ceci signifierait alors

une interaction entre la modalité de présentation des informations verbales et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage.

3 Méthodologie expérimentale

3.1 Population d'étude

Soixante-dix-neuf étudiants, 11 garçons et 68 filles en Licence 2 de Psychologie à l'Université Rennes II, participent à cette étude. La moyenne d'âge de la population est de 20.7 ans ($SD = 1.8$). Dans le cadre de TD de Psychologie Cognitive, les étudiants de Licence 2 se voient proposer la possibilité de découvrir le fonctionnement des laboratoires de recherches en participant à des études, leur participation est par conséquent considérée comme étant volontaire.

Aucun des participants à cette étude n'a pris part auparavant à une expérience sur le thème de la perception des couleurs. Seules les données des apprenants ne disposant que de peu / pas de connaissance préalables dans le domaine de la perception des couleurs sont prises en compte dans les analyses statistiques. Aussi, les données des participants obtenant 50% ou plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances ne sont-elles pas conservées. Afin de dissocier les résultats observés d'un possible effet de désirabilité sociale, les données des participants ayant réalisé la tâche d'apprentissage en étant l'unique participant sur un créneau horaire de passation ne sont pas conservées.

3.2 Matériel expérimental

Le document servant de support d'apprentissage est le même que celui utilisé dans les expériences 4, 5 et 6, à savoir un document hypermédia de 23 pages dont une première page de consigne, comprenant des informations verbales, des illustrations et / ou graphiques. Chaque nœud d'informations ne comprend qu'une seule page, sans besoin de barre de défilement pour consulter toutes les informations comprises dans chaque nœud. La consultation de l'environnement d'apprentissage se fait grâce à un sommaire reprenant le titre de chacun des nœuds, ce qui permet d'accéder au contenu du nœud d'informations souhaité, et grâce à des fonctions de navigation, de type « avancer » au nœud d'informations suivant ou « retour » au nœud d'informations précédent.

A l'instar des quatre études précédentes, le niveau de contrôle offert à l'apprenant est manipulé : soit le contrôle est « libre », et l'apprenant peut accéder aux nœuds d'informations dans l'ordre qu'il souhaite, soit le contrôle est « limité », ce qui signifie que le séquençage du document est contraint dans un premier temps, jusqu'au visionnage complet du document. La modalité de présentation des informations est elle aussi manipulée : soit les informations verbales sont présentées à l'oral et certaines d'entre elles, étant estimées comme les plus essentielles, sont reprises à l'écrit, soit les informations verbales sont uniquement présentées à l'écrit. Ce premier format nommé « modalité orale » est donc comparable au mode de présentation des informations utilisé dans les études 1, 2 et 3 ; le format « modalité écrite » est lui comparable au mode de présentation des informations utilisé dans les études 4 et 5.

Ainsi, quatre formats de présentation de l'environnement sont testés, selon un plan 2(contrôle libre / limité)*2(modalité orale / écrite).

L'objectif de consultation reste le même pour tous, quel que soit le niveau de contrôle offert : acquérir autant de connaissances que possible dans le domaine de la perception des couleurs, en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances.

3.3 Mesures effectuées

3.3.a Niveau de connaissances préalables dans le domaine

Le *pré-questionnaire de connaissances* comprend 6 questions ouvertes relatives à la perception des couleurs et une coupe de l'œil à légender. Un point est accordé pour toute réponse / légende correcte. En cas de réponse incorrecte ou incomplète, ou de légende erronée, aucun point n'est accordé. Ce pré-test permet de confirmer a posteriori que les apprenants ne disposent pas ou de peu de connaissances antérieures dans le domaine d'apprentissage.

3.3.b Activité métacognitive perçue

Le *questionnaire d'activité métacognitive perçue*, validé dans l'étude 4, permet d'obtenir pour chaque participant : (1) un niveau de planification perçue, (2) un niveau perçu de surveillance de l'avancée vers l'objectif, (3) un niveau perçu d'utilisation de stratégies.

Le questionnaire comprend un total de 13 items et chaque item se présente sous la forme d'une affirmation. L'apprenant doit se positionner envers cette affirmation sur une échelle de réponse en 20 points, ayant un pôle identifié comme « pas du tout d'accord », correspondant à un score de 1, et un pôle opposé identifié comme « tout à fait d'accord », correspondant à un score de 20.

3.3.c Niveau de charge cognitive perçue

De façon identique aux études précédentes, le niveau de charge cognitive perçue renvoie à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant estime avoir fourni pour réaliser la tâche d'apprentissage. Les 3 items utilisés se présentent chacun sous la forme d'une affirmation par rapport à laquelle les apprenants doivent se positionner. Le mode de réponse consiste en une échelle de réponse en 20 points dont l'un des pôles est identifié comme « Pas du tout d'accord » et correspond à un score de 1, et l'autre pôle est identifié comme « Tout à fait d'accord » et correspond à un score de 20. Dans cette étude, les items de charge cognitive perçue sont présentés à la suite des items d'activité métacognitive perçue.

3.3.d Indices de navigation

Lors de la consultation du document, toute activité des apprenants à l'écran est enregistrée grâce au logiciel CamStudio. Ainsi, pour chaque participant est comptabilisé le nombre total de comportements de révision, *i. e.* le nombre d'utilisations faites des fonctions de navigation pour consulter à nouveau un / des nœuds d'informations après une première consultation du document en son entier.

3.3.e Questionnaire de connaissances

Le *questionnaire de connaissances* administré en fin de passation comprend 7 questions ouvertes de type « paraphrase » et 7 questions ouvertes de type « inférence ». Le questionnaire est corrigé en aveugle, par un seul correcteur. A chaque bonne réponse est attribuée 1 point ; pour toute réponse manquante, incomplète ou erronée, aucun point n'est attribué.

3.4 Procédure

Cette expérience se déroule dans une salle comprenant quatre box, dans chacun desquels se trouve un poste informatique comprenant un écran 17 pouces, une souris et un clavier, et un casque audio. Les passations sont donc semi-collectives. Dans un premier temps, les participants répondent à quelques questions permettant de collecter des informations relatives à leur âge, leur genre et leur cursus universitaire antérieur éventuel. Une fois ces premières questions remplies, ils complètent le pré-questionnaire de connaissances.

Suite à ces questionnaires, les participants débutent la consultation du document en prenant connaissance de la première page de consigne. Une fois que les participants estiment avoir atteint leur objectif d'apprentissage, ils ferment seuls le document. Le questionnaire d'activité métacognitive perçue et de charge cognitive perçue puis le questionnaire de connaissances sont alors distribués aux participants.

Le temps moyen de passation est d'environ 35 minutes (plus ou moins 10 minutes).

4 Résultats

Etant donné que l'un des participants a obtenu plus de 50% de bonnes réponses au pré-questionnaire de connaissances, et que 4 des participants ont réalisé cette expérience en étant seuls inscrits dans un créneau horaire, ne sont considérées ici que les données de 74 des 79 participants initiaux.

4.1 Analyse des performances d'apprentissage

Le test d'homocédasticité de Levene indique que les variances des scores au post-questionnaire de connaissances sont homogènes, $F < 1$ pour chacun des scores. Aussi, une analyse de variance multiple est appliquée sur ces données.

Concernant les performances aux questions de paraphrase, il n'apparaît ni effet principal du niveau de contrôle, $F < 1$, ni effet principal de la modalité de présentation, $F < 1$.

Concernant les performances aux questions d'inférence, il y a un effet principal du type de contrôle offert aux apprenants, $F(3, 70) = 8.475$, $MSE = 1.5$, $p = .005$. Les apprenants en condition de « contrôle limité » ont en moyenne de meilleures performances de

compréhension que les apprenants placés en condition de « contrôle libre ». Un effet principal de la modalité de présentation des informations est observé sur le score aux questions d'inférence, $F(3, 70) = 7.434, p < .05$, la modalité « écrite » amenant à de meilleures performance de compréhension que la modalité de présentation « orale ».

Une interaction significative est observée entre ces deux paramètres : $F(3, 70) = 4.305, p < .05$.

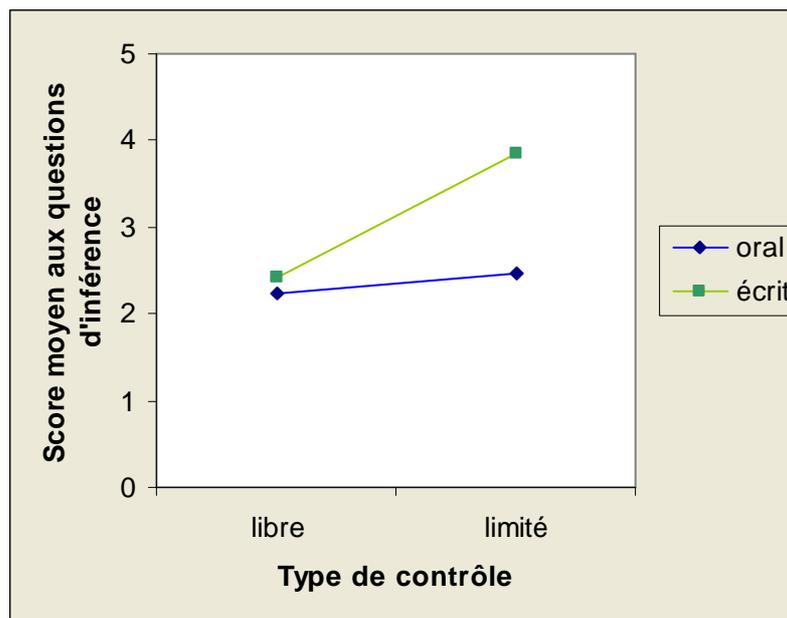


Figure 32: Score moyen aux questions d'inférence en fonction du niveau de contrôle et de la modalité de présentation des informations

En réalisant des contrastes entre nos différents groupes, il est possible de dire que les apprenants en condition de « contrôle limité et modalité écrite » ont des performances de compréhension significativement meilleures par rapport aux apprenants en condition « contrôle limité et modalité orale » ($t = 3.445, p = .002$), et par rapport aux apprenants en condition « contrôle libre et modalité écrite » ($t = 3.577, p = .001$) et « contrôle libre et modalité orale » ($t = 3.931, p = .001$). Les autres contrastes ne sont pas significatifs.

4.2 Analyse de la charge cognitive perçue

Le test d'homocédasticité de Levene ne faisant pas apparaître d'hétérogénéité des variances des scores, $F(3, 70) = 2.011, p > .05$, une analyse de variance est réalisée.

Il apparaît un effet principal de la modalité de présentation des informations, $F(3, 70) = 79.89, MSE = 3.764, p = .001$, les apprenants en condition de « modalité orale » exprimant une charge cognitive significativement plus importante que les apprenants en condition de « modalité écrite ». De plus, le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage a un effet principal sur la charge cognitive exprimée, $F(3, 70) = 4.94, p = .029$. Lorsque le séquençage est libre, les apprenants expriment une charge cognitive plus importante que lorsqu'il est limité.

Tableau 33: Scores moyens au questionnaire de charge cognitive perçue, selon la modalité de présentation des information et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage

Conditions	N	Charge cognitive perçue	
		M	SD
Modalité orale			
Contrôle libre	17	12.36	2.38
Contrôle limité	19	11.26	1.9
Modalité écrite			
Contrôle libre	19	8.23	1.76
Contrôle limité	19	7.32	1.7

Note : le score maximum est de 20 pour chacun des facteurs

Cependant, contrairement à nos attentes, aucune interaction n'est observée entre les deux facteurs, $F < 1$.

4.3 Analyse du questionnaire d'activité métacognitive perçue

Le test d'homocédasticité de Levene ne laisse pas apparaître d'hétérogénéité significative des variances aux scores du questionnaire d'activité métacognitive, $F(3, 70) = 2.322, p = .09$ pour le niveau de planification perçue, $F(3, 70) = 2.297, p = .067$ pour le niveau perçue de surveillance, et $F(3, 70) = 1.735, p = .168$ pour le niveau perçue d'utilisation de stratégies.

Tableau 34: Activité métacognitive perçue selon la modalité de présentation des informations et le niveau de contrôle offert dans l'environnement

Conditions	N	Niveau perçue de planification		Niveau perçue de surveillance de l'avancée		Niveau perçue d'utilisation de stratégies	
		M	SD	M	SD	M	SD
Modalité orale							
Contrôle libre	17	9.58	2.89	10.87	2.56	14.53	3.04
Contrôle limité	19	11.85	2.8	12.33	2.63	12.52	3.24
Modalité écrite							
Contrôle libre	19	12.71	1.9	12.76	2.46	13.84	3.43
Contrôle limité	19	13.88	2.35	13.16	1.98	12.7	2.1

Note : le score maximum est de 20 pour chacun des facteurs

L'analyse de variance multiple appliquée aux données révèle :

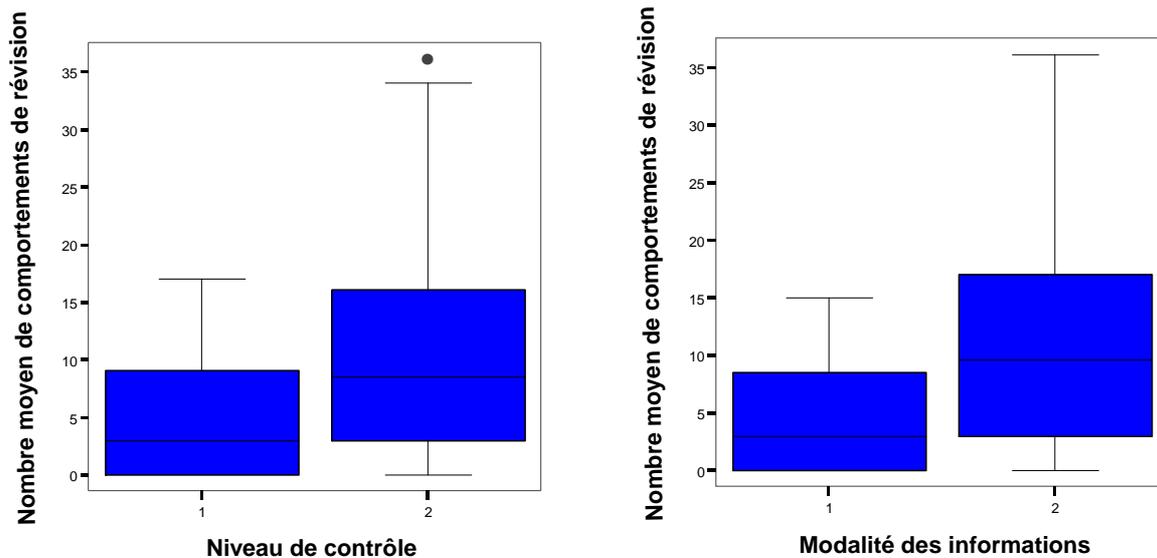
- un effet principal du niveau de contrôle sur le niveau perçue de planification, $F(3, 70) = 8.94, MSE = 6.275, p = .001$, et le niveau perçue de surveillance de l'avancée vers l'objectif, $F(3, 70) = 6.328, MSE = 4.401, p = .014$, mais pas d'effet sur le niveau perçue d'utilisation de stratégies, $F < 1$.
- un effet principal de la modalité de présentation des informations sur le niveau perçue de planification, $F(3, 70) = 7.757, p = .008$, le niveau perçue de surveillance de l'avancée vers

l'objectif, $F(3, 70) = 3.95, p = .049$, et le niveau perçu d'utilisation de stratégies, $F(3, 70) = 5.137, MSE = 7.962, p = .027$.

Cependant, il n'apparaît aucun effet d'interaction entre la modalité de présentation des informations et le niveau de contrôle présent concernant le niveau perçu de planification, $F(3, 70) = 2.284, p = NS$, et les niveaux perçus de surveillance et d'utilisation de stratégies, $F < 1$.

4.4 Analyse des comportements de révision

Etant donné que les variances des nombres moyens de comportements de révision sont hétérogènes, $F(3, 70) = 3.826, p < .05$, un test non paramétrique de Mann-Whitney est appliqué. Les résultats indiquent une différence significative concernant le nombre moyen de comportements de révision selon le type de contrôle, $U[74] = 423.5, p = .004$, et selon la modalité de présentation des informations, $U[74] = 410.5, p = .003$.



Note : 1 = contrôle libre ; 2 = contrôle limité

Note : 1 = modalité orale ; 2 = modalité écrite

Figure 33: Nombre moyen d'utilisations des fonctions de contrôle lors de la phase dite de révision en fonction du niveau de contrôle et en fonction de la modalité de présentation des informations

Les apprenants en condition de « contrôle limité » mettent en place significativement plus de comportements de révision par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre », et,

les apprenants en modalité « écrite » mettent en place significativement plus de comportements de révision que ceux placés en modalité « orale ».

5 Conclusion

L'intérêt de cette étude était de comprendre les différences de performances observées entre les expériences 1, 2, 3 et les expériences 4, 5. L'explication en termes d'effet de modalité inversé était la plus probable. En effet, un document hypermédia offre à l'apprenant un certain niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et dans le domaine de l'ergonomie des documents multimédias, il est montré que le contrôle de l'apprenant sur un document d'apprentissage peut modifier l'effet positif de la présentation orale des informations verbales. Dans le cas présent, ces résultats sont répliqués lors d'un apprentissage hypermédia. En effet, il apparaît une interaction significative entre le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et la modalité de présentation des informations concernant les performances de compréhension, les apprenants en condition de « modalité écrite et contrôle limité » obtenant un meilleur score aux questions d'inférence par rapport aux autres apprenants.

En ce qui concerne la charge cognitive perçue, bien que l'interaction entre le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage et la modalité de présentation des informations ne soit pas significative, les apprenants en condition de « modalité écrite et contrôle limité » expriment en moyenne une charge cognitive plus importante que les autres apprenants. Les items de charge cognitive perçue employés correspondent à une évaluation subjective de la quantité d'effort que l'apprenant estime avoir fourni pour comprendre l'information et du degré de difficulté ressenti par l'apprenant pour manipuler l'environnement. Or, dans les quatre documents hypermédias testés dans cette étude, les informations délivrées sont les mêmes. Donc, cette différence de charge cognitive perçue exprimée par les apprenants reflète une différence de difficulté perçue à manipuler l'environnement d'apprentissage. Ainsi, il est constaté que les apprenants en condition de « modalité écrite et contrôle limité » mettent en place, en moyenne, plus de comportements de révision que les autres apprenants. Le faible gain de connaissances des apprenants dans les autres environnements hypermédias et leur charge cognitive perçue plus importante s'expliquerait alors par des difficultés réelles à manipuler le document d'apprentissage et mettre en place des comportements de navigation pertinents, tels que des comportements de révision. Cette différence quantitative concernant la mise en place de comportements de révision a été discutée à plusieurs reprises en ce qui concerne les textes linéaires (*e. g.* Fayol, 1992 ; Jamet, 1998). Les modulations du rythme de

« consultation » des informations ou les retours en arrière sont des processus de régulation de l'activité de compréhension difficiles à utiliser en modalité orale car l'apprenant n'est alors pas maître du rythme de consultation des informations. Dans cette expérience 6, il serait possible de parler d'« inhibition » de la part des apprenants en condition de « modalité orale » dans la mise en place des comportements de révision.

Lors d'un apprentissage hypermédia, les apprenants doivent gérer non seulement le contrôle exercé sur le document mais aussi les multiples représentations de l'information. Bien que dans la littérature, les termes « hypertexte » et « hypermédia » soient parfois employés de façon synonymique, la composante « multimédia » du second type d'environnement est importante à prendre en considération, particulièrement lorsque la situation d'apprentissage concerne des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine. Aussi, la construction d'un environnement d'apprentissage hypermédia doit-elle respecter les principes d'élaboration des documents multimédias.

Discussion générale

Les objectifs de ce travail de recherche étaient d'une part de déterminer le(s) facteur(s) pouvant influencer l'utilisation des fonctions de contrôle dans un environnement d'apprentissage hypermédia, puis de comprendre comment ce(s) facteur(s) influence(nt) à la fois l'activité d'utilisation de l'environnement hypermédia et l'activité d'apprentissage des informations. Parmi les différences interindividuelles recensées dans la littérature concernant l'utilisation des environnements hypermédiés pour l'apprentissage, le niveau de connaissances préalables de l'apprenant dans le domaine apparaît comme l'une des plus importante à considérer. Comme observé « classiquement » concernant non seulement l'apprentissage de textes linéaires, d'hypertextes ou de documents multimédiés, les apprenants ayant des connaissances préalables dans le domaine obtiennent de meilleures performances d'apprentissage hypermédia par rapport aux apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures (étude 1). Mais ce qui est intéressant dans cette première étude tient au fait que ces performances d'apprentissage apparaissent « médiatisées » par les comportements de navigation dans l'hyper-espace et surtout, de l'observation que les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine mettent en place des stratégies de consultation non pertinentes en termes de performances d'apprentissage. A l'opposé, les apprenants disposant de plus de connaissances préalables utilisent des stratégies efficaces de type « révision » ou « combinée ». La liberté de consultation offerte par l'environnement hypermédia, bien que pour un temps considérée comme son premier atout, semble être un frein à l'apprentissage des informations pour les apprenants ayant le moins de connaissances préalables dans le domaine. Ainsi, lorsque le séquençage de l'épisode est contraint dans un premier temps, jusqu'au visionnage complet du document, alors les apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables obtiennent de meilleures performances de compréhension, notamment à un niveau global (étude 2). Dans ces conditions de « contrôle limité », ils construisent une représentation de la structure du document qui les aide à la construction d'une représentation cohérente du domaine, *i. e.* un modèle de situation. A une épreuve de rappel de la structure du document, ils obtiennent ainsi de meilleures performances que les apprenants en condition de « contrôle libre ». Ce meilleur repérage de la structure du domaine est à mettre en lien avec une différence notable de comportement de consultation, observée par l'utilisation couplée d'une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires et d'un protocole verbal différé : les apprenants

en condition de « contrôle limité » font des transitions entre le contenu informationnel et le sommaire tout au long de l'épisode d'apprentissage afin de repérer la position du nœud consulté dans la hiérarchie, de se remémorer les nœuds d'informations auparavant consultés ou de connaître les nœuds d'informations à venir (étude 4). Quant aux apprenants en condition de « contrôle libre », *i. e.* en situation « classique » d'apprentissage, ils prêtent peu attention aux titres des nœuds d'informations et réalisent moins de transitions entre le contenu informationnel et le sommaire, ces rares transitions intervenant surtout en fin de consultation et servant essentiellement à vérifier que les nœuds d'informations ont bien tous été consultés ou encore à obtenir un bref aperçu du domaine.

Il pourrait paraître somme toute surprenant que les apprenants portent plus intérêt à la structuration de l'environnement lorsque le séquençage du document est (temporairement) contraint. Ce résultat trouve explication dans l'activité métacognitive des apprenants selon le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage. Que le contrôle de l'épisode d'apprentissage soit libre ou limité, tous ont pour consigne d'apprendre autant d'informations que possible en vue de répondre à un nouveau questionnaire de connaissances. Le problème rencontré par les apprenants, notamment en condition de « contrôle libre », est que bien qu'ils ne disposent pas ou de peu de connaissances préalables dans le domaine, ils se reposent sur leur métacompréhension préalable à l'épisode d'apprentissage pour mettre fin à la consultation du document, et cela même lorsqu'un feedback leur est donné par le système concernant leur état de connaissances actuel (étude 3). Autrement dit, lorsque le contrôle de l'épisode d'apprentissage est libre, les apprenants font face à un phénomène d'« illusion de savoir », ce qui renvoie à une surestimation de leur état de connaissances actuel. Lorsque le contrôle de l'épisode d'apprentissage est contraint, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables ont une métacompréhension plus proche de leur état de connaissances réel. Ces derniers surveillent davantage leur progression vers l'objectif d'apprentissage. Or, la surveillance de l'état de connaissance par l'apprenant est un processus métacognitif essentiel qui permet de planifier efficacement son apprentissage et d'utiliser des stratégies de consultation pertinentes ou de modifier sa stratégie initiale afin d'améliorer sa progression vers l'objectif. Ainsi, dans un protocole verbal différé, il est observé que les apprenants en condition de « contrôle limité » mettent en place significativement plus de processus métacognitifs de type « planification » et « surveillance de l'avancée vers l'objectif » par rapport aux apprenants en condition de « contrôle libre » (étude 4). Ces deux processus apparaissent comme responsables de la mise en place des comportements de révision. Les apprenants en condition de « contrôle limité » utilisent la première consultation « contrainte »

afin de repérer la structure du document et le contenu informationnel de chaque nœud puis utilisent le sommaire afin de revoir des nœuds d'informations selon leurs besoins estimés. Il apparaît ainsi que les apprenants en condition de « contrôle limité » réalisent des inférences de niveau global pendant la phase de révision, consultant les unes à la suite des autres les pages qu'ils estiment liées sémantiquement. Pour les rares apprenants ayant utilisé une stratégie de type « révision » en condition de « contrôle libre », ceux-ci n'ayant pas repéré la structure du document, ne savent de quelles informations ils ont besoin en vue d'atteindre leur objectif d'apprentissage et mettent en place des comportements de révision qui pourraient être qualifiés de « révision à rebours » et qui consiste à revoir tous les nœuds d'informations du dernier jusqu'au premier.

La liberté de consultation lors d'un épisode d'apprentissage hypermédia implique pour les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables de réguler leur apprentissage et de prendre des décisions concernant aussi bien le séquençage du document que le contenu à consulter. Ces décisions impliquent donc une charge cognitive importante. L'activité d'apprentissage des informations étant dépendante de cette activité de navigation, il serait à supposer que l'activité de navigation se fait au détriment de la compréhension des informations. Or, s'il est observé une charge cognitive relative à la navigation plus importante pour les apprenants en condition de « contrôle libre » par rapport aux apprenants en condition de « contrôle limité », il n'apparaît pas de différence significative d'investissement en termes de ressources cognitives entre les deux groupes concernant l'activité de traitement du contenu informationnel (étude 5). L'explication de cette absence de différence tiendrait justement dans la différence observée concernant le traitement des fonctions de navigation. Les apprenants en condition de « contrôle limité » et de « contrôle libre » mobiliseraient une même quantité de ressources cognitives pour atteindre leur objectif principal de traitement des informations. Cependant, il est constaté que les apprenants en condition de « contrôle limité » mettent en place une activité métacognitive plus importante et utilisent une stratégie de consultation plus pertinente étant donné leur niveau de connaissances préalables. Leur activité de navigation serait donc facilitée par le contrôle restreint de leur épisode d'apprentissage, ce qui se traduirait par moins de ressources cognitives mobilisées, et les traitements réalisés sur les informations seraient plus pertinents. Comprendre un document hypermédia, *i. e.* avoir une représentation cohérente de l'ensemble du domaine d'apprentissage, nécessite bien entendu de comprendre le contenu informationnel de chacun des nœuds qui le composent, et au-delà de comprendre les relations qui existent entre chacun de ces nœuds. Concernant les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables placés en condition de « contrôle libre », leur

compréhension locale ne diffère pas significativement de celle des apprenants en condition de « contrôle limité ». Cependant, leurs difficultés de régulation de leur épisode d'apprentissage et donc leurs difficultés dans l'activité d'utilisation de l'environnement d'apprentissage font qu'ils ont un défaut de compréhension du domaine à un niveau plus global.

Dans cet ensemble d'études est mis en saillance l'importance de distinguer l'apprentissage d'un document hypertexte de l'apprentissage d'un document hypermédia. Bien que les deux termes soient utilisés de façon synonymique dans de nombreux articles, le traitement des sources d'informations de natures différentes induit une charge supplémentaire par rapport au traitement du contenu d'un hypertexte. Ainsi, lorsque le contenu informationnel est présenté à la fois oralement et visuellement, la charge cognitive exprimée par les apprenants est significativement plus importante que lorsque les informations sont présentées uniquement à l'écrit, et les apprenants en condition de « modalité orale et écrite » obtiennent des performances de compréhension significativement inférieures à celles obtenues par les apprenants en condition de « modalité écrite » (étude 6). En prenant en compte le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage, il apparaît que les apprenants en condition de « modalité écrite et contrôle limité » obtiennent les meilleures performances de compréhension, expriment en moyenne une charge cognitive moindre et mettent en place plus de comportements de révision. Aussi, cet effet de modalité inversé est-il à mettre sur le compte d'une difficulté, réelle et perçue, des apprenants à mettre en place des comportements de navigation pertinents lorsque les informations verbales sont présentées en condition bimodale et lorsque le contrôle de l'épisode d'apprentissage est libre. Le traitement de plusieurs sources d'informations de natures différentes pourrait alors être, sous certaines conditions, une difficulté supplémentaire qui s'ajouterait à celle de gérer le contrôle offert à l'apprenant sur l'épisode d'apprentissage. De plus amples études concernant l'application des principes de conception de documents multimédias pour l'apprentissage aux documents hypermédiés pour l'apprentissage semblent nécessaires.

Dans ce travail, l'utilisation conjointe de méthodes d'étude on-line et off-line permet d'avancer quelque peu dans la compréhension des liens entre stratégie de consultation et performances d'apprentissage en soulignant l'importance de l'activité métacognitive de l'apprenant pendant l'épisode d'apprentissage. Dans les conditions créées expérimentalement de « contrôle limité » et de « contrôle libre », les environnements hypermédiés ne divergent pas concernant le contenu informationnel ou les fonctions de navigation présentes dans l'interface. Lorsque le séquençage était contraint, aucun apprenant n'est allé à l'encontre des instructions et aucun n'a pris connaissance du message de rappel de la consigne. Donc, la

seule différence entre ces deux conditions tient en la consigne d'apprentissage et en sa compréhension par les apprenants. En condition de « contrôle limité », la consigne seule induit la mise en place de processus métacognitifs pertinents et se traduit par l'utilisation de comportements de navigation plus efficaces en termes de repérage de la structure du document et de performances de compréhension, notamment à un niveau global. Les études antérieures ayant pour objet l'effet du niveau de connaissances préalables dans le domaine sur les performances d'apprentissage hypermédia ont porté sur l'utilisation d'outils de navigation différenciés selon le niveau de connaissances ou sur une structuration différenciée des nœuds d'informations. Ainsi, l'accent doit être mis sur la mise en place d'une activité de régulation de l'épisode d'apprentissage par l'apprenant. La création d'un environnement d'apprentissage hypermédia adapté au niveau de connaissances préalables de l'apprenant dans le domaine pourrait non pas passer par la création de plusieurs environnements différant par l'accès aux informations mais par une consigne d'apprentissage différenciée et qui inciterait les apprenants ayant le moins de connaissances préalables dans le domaine à réguler leur apprentissage.

Toutefois, les conclusions de cette série d'études en termes de conception d'environnements d'apprentissage hypermédiés différenciés sont à considérer avec précaution étant donné le caractère peu écologique de ces expériences. Ne pas contraindre le temps d'apprentissage des participants ne peut être une garantie pour assurer une « transférabilité » des résultats observés en laboratoire à une situation réelle d'utilisation. Ainsi, dans l'étude 4, il apparaît bien que le temps de consultation accordé à certaines informations est dépendant des performances supposées par les apprenants au pré-questionnaire de connaissances : ici, la procédure expérimentale en elle-même biaise les comportements de navigation des apprenants. Que penser alors de l'« inhibition » des comportements de navigation observée dans l'étude 6, lorsque les informations verbales sont données à l'oral ? Il est peu certain qu'un apprenant dont l'objectif serait d'apprendre autant d'informations que possible en vue d'un examen de connaissances mettrait en place aussi peu de comportements de navigation. De plus, il est à considérer qu'en situation d'utilisation « naturelle » d'un document hypermédia pour l'apprentissage, les apprenants pourraient prendre des notes et organiser par ces notes les informations consultées. La question est donc de savoir si en situation réelle d'utilisation, *i. e.* en complément de cours ou en formation à distance, les relations entre « activité métacognitive », « stratégies de consultation » et « performances d'apprentissage » restent les mêmes.

Bibliographie

- Amadiou, F., & Tricot, A. (2006). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage: Deux activités concurrentes ou complémentaires? [Using hypermedia and learning: Two concurrent or complementary activities?]. *Psychologie Française*, 51, 5-23.
- 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, 381-388.
- 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., 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*, 19, 376-386.
- Antonenko, P. D., & Niederhauser, D. S. (2010). The influence of leads on cognitive load and learning in a hypertext environment. *Computers in Human Behavior*, 26, 140-150.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short term memory. *Scientific American*, 225, 82-90.
- Azevedo, R., & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate student's learning with hypermedia? . *Journal of Educational Psychology*, 96, 523-535.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., Winters, F. I., Moos, D. C., & Greene, J. A. (2005). Adaptive human scaffolding facilitates adolescents' self-regulated learning with hypermedia. *Instructional Science*, 33, 381-412.
- Azevedo, R., Guthrie, J. T., & Seibert, D. (2004). The role of self-regulated learning in fostering students' conceptual understanding of complex systems with hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, 30, 87-111.

- Azevedo, R., & Jacobson, M. (2008). Advances in scaffolding learning with hypertext and hypermedia: A summary and critical analysis. *Educational Technology Research and Development*, 56, 93-100.
- Azevedo, R., Moos, D. C., Greene, J. A., Winters, F. I., & Cromley, J. G. (2008). Why is externally-facilitated regulated learning more effective than self-regulated learning with hypermedia? *Educational Technology Research and Development*, 56, 45-72.
- Baccino, T., & Colé, P. (1995). *La lecture experte*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. Que sais-Je ?
- Baccino, T., Salmerón, L., & Cañas, J. (2008). La lecture des hypertextes. In A. Tricot, & A. Chevalier (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques* (p. 9-34). Paris: PUF.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York: Cambridge University Press.
- Bannert, M., Hildebrand, M., & Mengelkamp, C. (2009). Effects of metacognitive support device in learning environments. *Computers in Human Behavior*, 25, 829-835.
- Bannert, M., & Mengelkamp, C. (2008). Assessment of metacognitive skills by means of instruction to think aloud and reflect when prompted. Does the verbalisation method affect learning? *Metacognition and Learning*, 3, 39–58.
- Bisanz, J., & LeFevre, J.-A. (1990). Strategic and non-strategic processing in the development of mathematical cognition. In D. J. Bjorklund (Ed.), *Children's strategies: Contemporary views of cognitive development* (p. 213-244). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Britt, M. A., Rouet, J.-F., & Perfetti, C. A. (1996). Using hypertext to study and reason about historical evidence. In J. J. L. J.-F. Rouet, A.P. Dillon, and R.J. Spiro (Ed.), *Hypertext and Cognition* (p. 43-72). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brünken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 53-61.
- 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.

- 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, 439-450.
- Callender, A. A., & McDaniel, M. A. (2007). The benefits of embedded question adjuncts for low and high structure builders. *Journal of Educational Psychology*, 99, 339–348.
- Caverni, J.-P. (1988). La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du fonctionnement cognitif. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn, & G. Tiberghien (Eds), *Psychologie cognitive, modèles et méthodes*. (p. 253-273). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble:
- Chen, S. (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.
- Chen, R., & Rada, R. (1996). Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human-Computer Interaction*, 11, 125-156.
- Corbalan, G., Kester, L., & van Merriënboer, J. J. G. (2009). Dynamic task selection: Effects of feedback and learner control on efficiency and motivation. *Learning and Instruction*, 19, 455-465.
- Cromley, J. G., & Azevedo, R. (2006). Self-report of reading comprehension strategies: What are we measuring?. *Metacognition Learning*, 1, 229-247.
- de Jong, T., & van der Hulst, A. (2002). The effects of graphical overviews on knowledge acquisition in hypertext. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18, 219-231.
- 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. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*, 23, 1616-1641.

- Dias, P., Gomes, M.J., & Correia, A. P. (1999). Disorientation in hypermedia environments : Mechanisms to support navigation. *Journal of Educational Computing Research*, 20, 93-117.
- 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, 322-349.
- Dillon, A., & Jobst, J. (2005). Multimedia learning with hypermedia. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (p. 569-588). Cambridge: Cambridge University Press.
- Dixon, P. (1991). From research theory to practice: Commentary on Chandler and Sweller. *Cognition and Instruction*, 8, 342-350.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., & Middleton, E. L. (2005). What constrains the accuracy of metacomprehension judgments? Testing the transfer-appropriate-monitoring and accessibility hypotheses. *Journal of Memory and Language*, 52, 551-565.
- Dunlosky, J., & Lipko, A. R. (2007). Metacomprehension: A brief history and how to improve its accuracy. *Current Directions in Psychological Science*, 16, 228-232.
- Dunsworth, Q., & Atkinson, R. K. (2007). Fostering multimedia learning of science: Exploring the role of an animated agent's image. *Computers & Education*, 49, 677-690.
- Dyck, J. L., Gee, N. R., & Smither, J. A. A. (1998). The changing construct of computer anxiety for younger and older adults. *Computers in Human Behavior*, 14, 61-77.
- Fayol, M. (1992) Comprendre ce qu'on lit. De l'automatisme au contrôle. In M. Fayol, J.-E. Gombert, P. Lecocq, L. Sprenger-Charolles & D. Zagar (Eds): *Psychologie cognitive de la lecture*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Federico, P.-A. (1999). Hypermedia environments and adaptative instruction. *Computers in Human Behavior*, 15, 653-692.

- Foltz, P. W. (1996). Comprehension, coherence and strategies in hypertext and linear text. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen, A. P. Dillon, & R. J. Spiro (Eds.), *Hypertext and Cognition*. Hillsdale, 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, 281-311.
- Foss, C. L. (1989). Tools for reading and browsing hypertext. *Information Processing and Management*, 25, 407-418.
- Gall, J. E., & Hannafin, M. J. (1994). A framework for the study of hypertext. *Instructional Science*, 22, 207-232.
- Gaonac'h, D., & Fayol, M. (2003). *Aider les élèves à comprendre. Du Texte au multimédia*. Paris : Hachette.
- Gaudron, J.-P., & Vignoli, E. (2002). Assessing computer anxiety with the interaction model of anxiety: development and validation of the computer anxiety trait scale. *Computers in Human Behavior*, 18, 315-325.
- Gay, G. (1986). Interaction of learner control and prior understanding in computer-assisted video instruction. *Journal of Educational Psychology*, 78, 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, 33-41.
- Gerjets, P., Scheiter, K., Opfermann, M., Hesse, F. W. & Eysink, T. H. S. (2009). Learning with hypermedia: The influence of representational formats and different levels of learner control on performance and learning behavior. *Computers in Human Behavior*, 25, 360-370.
- Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction*, 15, 313-331.
- Glenberg, A.M., & Epstein, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 702-718.

- Glenberg, A.M., & Epstein, W. (1987). Inexpert calibration of comprehension. *Memory & Cognition*, 15, 84-93.
- Glenberg, A. M., Sanocki, T., Epstein, W., & Morris, C. (1987). Enhancing calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 119-136.
- Glenberg, A.M., Wilkinson, A., & Epstein, W. (1982). The illusion of knowing: Failure in the self-assessment of comprehension. *Memory & Cognition*, 10, 597-602.
- Goldman, S. R. (1991). On the derivation of instructional applications from cognitive theories: Commentary on Chandler and Sweller. *Cognition and Instruction*, 8, 333-342.
- Goldman, S. (2003). Learning in complex domains: when and why do multiple representations help? *Learning & Instruction*, 13, 239–244.
- Goldman, S. R., & Saul, E. U. (1990). Flexibility in text processing: A strategy competition model. *Learning and Individual Differences*, 2, 181-219.
- Greene, J. A., & Azevedo, R. (2007). Adolescents' use of self-regulated processes and their relation to qualitative mental model shifts while using hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, 36, 125-148.
- Greene, J. A., & Azevedo, R. (2009). A macro-level analysis of SRL processes and their relations to the acquisition of a sophisticated mental model of a complex system. *Contemporary Educational Psychology*, 34, 18-29.
- Greene, J. A., Bolick, C. M., & Robertson, J. (2010). Fostering historical knowledge and thinking skills using hypermedia learning environments: The role of self-regulated learning. *Computers & Education*, 54, 230-243.
- Greene, J. A., Costa, L.-J., Robertson, J., Pan, Y., & Deekens, V. M. (2010). Exploring relations among college students' prior knowledge, implicit theories of intelligence, and self-regulated learning in a hypermedia environment. *Computers & Education*, 55, 1027-1043.
- Gyselinck, V., Jamet, E., & Dubois, V. (2008) The role of working memory components in multimedia comprehension. *Applied Cognitive Psychology*, 22, 353-374.

- Hacker, D. J., Bol, L., Horgan, D. D., & Rakow, E. A. (2000). Test prediction and performance in a classroom context. *Journal of Educational Psychology, 92*, 160-170.
- Hannafin, R. D., & Sullivan, H. J. (1996). Preferences and learner control over amount of instruction. *Journal of Educational Psychology, 88*, 162-173.
- Harskamp, E. G., Mayer, R. E., & Suhre, C. (2007). Does the modality principle for multimedia learning apply to science classrooms?. *Learning and Instruction, 17*, 465-477.
- Heinssen, R. K., Glass, C. R., & Knight, L. A. (1987). Assessing computer anxiety: development and validation of the computer anxiety rating scale. *Computers in Human Behavior, 3*, 49-59.
- Hofman, R., & van Oostendorp, H. (1999). Cognitive effects of a structural overview in a hypertext. *British Journal of Educational Technology, 30*, 129-140.
- Ignacio Madrid, R., van Oostendorp, H., & Puerta Melguizo, M. C. (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*, 66-75.
- Jamet, E. (1998). L'influence des formats de présentation sur la mémorisation. *Revue de Psychologie de l'Education, 1*, 9-35.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology, 13*, 351-371.
- Kellogg, R. T. (1987). Effects of topic knowledge on the allocation of processing time and cognitive effort to writing processes. *Memory and Cognition, 15*, 256-266.
- Kellogg, R. T. (1988). Attentional overload and writing performance: Effects of rough draft and outline strategies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 14*, 355-365.

- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kinzie, M. B. (1990). Requirements and benefits of effective interaction instruction: Learner control, self-regulation, and continuing motivation. *Educational Technology Research and Development*, 38, 5-21.
- Kopcha, T. J., & Sullivan, H. (2008). Learner preferences and prior knowledge in learner-controlled computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 56, 265-286.
- 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, 126-140.
- Last, D. A., O'Donnell, A. M. & Kelly, A. E. (2001). The effects of prior knowledge and goal strength on the use of hypermedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 10, 3-25.
- Leahy, W., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 401-418.
- 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.
- Lee, M. J., & Tedder, M. C. (2003). The effects of three different computer texts on readers' recall: based on working memory capacity. *Computers in Human Behavior*, 19, 767-783.

- Liu, M., & Reed, W. M. (1995). The effect of hypermedia assisted instruction on a second language learning through a semantic-network-based approach. *Journal of Educational Computing Research*, 12, 159-175.
- Loyd, B. H., & Gressard, C. P. (1984). Reliability and factorial validity of computer attitude scales. *Educational and Psychological Measurement*, 44, 501-505.
- MacGregor, S. K. (1999). Hypermedia navigation profiles: Cognitive characteristics and information processing strategies. *Educational Computing Research*, 20, 189-206.
- Maki, R. H., & Berry, S. L. (1984). Metacomprehension of text material. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, 663-679.
- Maki, R. H., & Serra, M. (1992). Role of practice tests in the accuracy of test predictions on text material. *Journal of Educational Psychology*, 84, 200-210.
- Marcoulides, G. A., & Wang, X. B. (1990). A cross-cultural comparison of computer anxiety in college students. *Journal of Educational Computing Research*, 6, 251-263.
- Mc Donald, S., & Stevenson, R. J. (1995). Disorientation in hypertext: The effects of three text structures on navigation performance. *Applied Ergonomics*, 27, 61-68.
- McDonald, S., & Stevenson, R. J. (1998a). The effects of text structure and prior knowledge of the learner on navigation in hypertext. *Human Factors*, 40, 18-27.
- McDonald, S., & Stevenson, R. J. (1998b). Navigation in hyperspace: An evaluation of the effects of navigational tools and subject matter expertise on browsing and information retrieval in hypertext. *Interacting with Computer*, 10, 129-142.
- Mc Namara, D. S., & Kintsch, W. (1996). Learning from texts: Effects of prior knowledge and text coherence. *Discourse Processes*, 22, 247-288.
- Mc Namara, D. S., & Shapiro, A. M. (2005). Multimedia and hypermedia solutions for promoting metacognitive engagement, coherence and learning. *Journal of Educational Computing Research*, 33, 1-29.

- Mc Manus, T. F. (2000). Individualizing instruction in a Web-based hypermedia learning environment: Nonlinearity, advance organizers, and self-regulated learners. *Journal of Interactive Learning Research*, 11, 219-251.
- Merrill, M. D. (1980). Learner control in computer based learning. *Computers & Education*, 4, 77-95.
- Milheim, W. D., & Martin, B. (1991). Theoretical bases for the use of learner control: Three different perspectives. *Journal of Computer-Based Instruction*, 18, 99-105.
- 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, 53-64.
- Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008a). Monitoring, planning, and self-efficacy during learning with hypermedia: The impact of conceptual scaffolds. *Computers in Human Behavior*, 24, 1686-1706
- Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008b). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. *Contemporary Educational Psychology*, 33, 270-298.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 2, 358-368.
- Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive Load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87, 319-334.
- Nilsson, R. M., & Mayer, R. E. (2002). The effects of graphic organizers giving cues to the structure of a hypertext document on user's navigation strategies and performance. *Human-Computer Studies*, 57, 1-26.
- 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.
- Otter, M., & Johnson, H. (2000). Lost in hyperspace: Metrics and mental models. *Interacting with Computers*, 13, 1-40.

- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6, 351-371.
- Palmquist, R. A., & Kim, K.-S. (2000). Cognitive style and on-line database search experience as predictors of Web search performance. *Journal of the American Society for Information Science*, 51, 558-566.
- Pauli, K. P., Gilson, R. L., & May, D. R. (2007). Anxiety and avoidance: The mediating effects of computer self-efficacy on computer anxiety and intention to use computers. *Review of Business Information Systems*, 11, 57-64.
- Pintrich, P. R. (1995). Understanding self-regulated learning. In P. R. Pintrich (Ed.), *Understanding self-regulated learning* (p. 3-12). San Francisco: Jossey-Bass.
- Piolat, A., & Olive, T. (2000). Comment étudier le coût et le déroulement de la rédaction de textes ? La méthode de la triple tâche : Un bilan méthodologique. *L'Année Psychologique*, 100, 465-502.
- Potelle, H., & Rouet, J.-F. (2003). Effects of content representation and reader's prior knowledge on the comprehension of hypertext. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58, 327-345.
- Pressley, M., Snyder, B. L., Levin, J. R., Murray, H. G., & Ghatala, E. S. (1987). Perceived readiness for examination performance produced by initial reading of text and text containing adjunct questions. *Reading Research Quarterly*, 22, 219-236.
- Puntambekar, S., Stylianou, A., & Hübscher, R. (2003). Improving navigation and learning in hypertext environments with navigable concept maps. *Human-Computer Interaction*, 18, 395-428.
- Rawson, K. A., Dunlosky, J., & Thiede, K. W. (2000). The rereading effect: Metacomprehension accuracy improves across reading trials. *Memory & Cognition*, 28, 1004-1010.
- Reed, W. M., & Giessler, S. F. (1995). Prior computer-related experiences and hypermedia metacognition. *Computers in Human Behavior*, 11, 581-600.

- Reed, W. M., & Oughton, J. M. (1997). Computer experience and interval-based hypermedia navigation. *Journal of Research on Computing in Education*, 30, 38-52.
- 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.
- Rezende, F., & de Souza Barros, S. (2008). Student's navigation patterns in the interaction with a mechanics hypermedia program. *Computers and Education*, 50, 1370-1382.
- Rouet, J.-F., & Potelle, H. (2005). Navigational principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (p. 297-312). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rouet, J.-F., & Passerault, J.-M. (1999). Analyzing learner-hypermedia interaction: An overview of online methods. *Instructional Science*, 27, 201-219.
- Salmerón, L., Baccino, T., Cañas, J. J., Madrid, R. I., & Fajardo, I. (2009). Do graphical overviews facilitate or hinder comprehension in hypertext? *Computers & Education*, 53, 1308-1319.
- Salmerón, L., Cañas, J. J., Kintsch, W., & Fajardo, I. (2005). Reading strategies and hypertext comprehension. *Discourse Processes*, 40, 171-191.
- Scheiter, K., & Gerjets, P. (2007). Learner control in hypermedia environments. *Educational Psychology Review*, 19, 285-307.
- Scheiter, K., Gerjets, P., Vollmann, B., & Catrambone, R. (2009). The impact of learner characteristics on information utilization strategies, cognitive load experienced, and performance in hypermedia learning. *Learning and Instruction*, 19, 387-401.
- Schmidt, A. M., & Ford, J. K. (2003). Learning within a learner control training environment: The interactive effects of goal orientation and metacognitive instruction on learning outcomes. *Personnel Psychology*, 56, 405-429.

- Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (p. 49-69). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Heiss, A. (2009). Semantic scaffolds in hypermedia learning environments. *Computers in Human Behavior*, *25*, 371-380.
- Shapiro, A. M. (1999a). The relationship between prior knowledge and interactive overviews during hypermedia-aided learning. *Journal of Educational Computing Research*, *20*, 143-163.
- Shapiro, A. M. (1999b). The relevance of hierarchies to learning biology from hypertext. *The Journal of the Learning Sciences*, *8*, 215-243.
- Shapiro, A. M. (2000). The effect of interactive overviews on the development of conceptual structure in novices learning from hypermedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, *9*, 57-78.
- Shapiro, A. M. (2004). How including prior knowledge as a subject variable may change outcomes of learning research. *American Educational Research Journal*, *41*, 159-189.
- Shapiro, A. M., & Niederhauser, D. (2004). Learning from hypertext: Research issues and findings. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (p. 605-620). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shin, E. C., Schallert, D., & Savenye, W. C. (1994). Effects of learner control, advisement, and prior knowledge on young student's learning in a hypertext environment. *Educational Technology Research and Development*, *42*, 33-46.
- Su, Y., & Klein, J. D. (2006). Effects of navigation tools and computer confidence on performance and attitudes in a hypermedia learning environment. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, *15*, 87-106.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Melbourne: ACER Press.

- Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (p. 19-30). New-York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why Some Material Is Difficult to Learn. *Cognition & Instruction, 12*, 185.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.
- Tabbers, H. K., Martens, R. L., & van Merriënboer, J. J. G. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology, 74*, 71-81.
- Thiede, K. W., & Anderson, M. C. M. (2003). Summarizing can improve metacomprehension accuracy. *Contemporary Educational Psychology, 28*, 129-160.
- Thiede, K. W., Anderson, M. C. M., & Therriault, D. (2003). Accuracy of metacognitive monitoring affects learning of text. *Journal of Educational Psychology, 95*, 66-73.
- Van Dijk, T.A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New-York; Academic Press.
- van Nimwegen, C., Pouw, M., & van Oostendorp, H. (1999). The influence of structure and reading-manipulation on usability of hypertexts. *Interacting with Computers, 12*, 7-21.
- Veenman, M. V. J., Elshout, J. J., & Groen, M. G. M. (1993). Thinking aloud: does it affect regulatory processes in learning. *Tijdschrift Voor Onderwijsresearch, 18*, 322–330.
- Walczyk, J. J., & Hall, V. C. (1989). Effects of examples and embedded questions on the accuracy of comprehension self-assessments. *Journal of Educational Psychology, 81*, 435-437.
- Wang, P., Hawk, W. B., & Tenopir, C. (2000). User's interaction with World Wide Web resources: An exploratory study using a holistic approach. *Information Processing and Management, 36*, 229-251.

- Waniek, J., Brunstein, A., Naumann, A., & Krems, J. F. (2003). Interaction between text structure representation and situation model in hypertext reading. *Swiss Journal of Psychology, 62*, 103-111.
- Waniek, J., & Ewald, K. (2008). Cognitive costs of navigation aids in hypermedia learning. *Journal of Educational Computing Research, 39*, 185-204.
- 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.
- Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. (1981). *Cognitive styles, essence and origin: Field dependance and field independance*. New-York: International Universities Press.
- Zabrucky, K. M. (2010). Knowing what we know and do not know: Educational and real world implications. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 2*, 1266–1269.
- Zhu, E. (1999). Hypermedia interface design: The effects of number of links and granularity of nodes. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 8*, 331-358.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice, 41*, 64-72.
- Zumbach, J., & Mohraz, M. (2008). Cognitive load in hypermedia reading comprehension: Influence of text type and linearity. *Computers in Human Behavior, 24*, 875-887.

Index des figures

Figure 1: Représentation des composantes d'une situation d'apprentissage hypermédia (d'après Amadiou & Tricot, 2006)	17
Figure 2: Exemples de structure hypertextuelle	19
Figure 3: Outils de navigation utilisés dans l'expérience de Potelle et Rouet (2003).....	22
Figure 4: Copie d'écran d'une page de l'environnement hypermédia créé	31
Figure 5: Copie d'écran du premier item de l'épreuve informatisée de dépendance au champ	32
Figure 6 : Consigne pour l'apprentissage du document hypermédia.....	36
Figure 7: Représentation graphique d'une stratégie de consultation « linéaire" (participant 40)	38
Figure 8: Représentation graphique d'une stratégie de consultation de "révision" (participant 10)	38
Figure 9: Représentation graphique d'une stratégie de consultation "active" (participant 66).....	38
Figure 10: Représentation graphique d'une stratégie de consultation "combinée" (participant 4)	38
Figure 11: Analyse en modèle structural sous Amos 5.0, modèle MOD3	40
Figure 12: Répartition des apprenants dans les différentes stratégies déterminées selon leur niveau de connaissances préalables	44
Figure 13: Message affiché en cas de non consultation linéaire en condition de « contrôle limité »	60
Figure 14: Copie d'écran de la consigne utilisée en format « contrôle limité »	61
Figure 15: Répartition entre les stratégies de consultation déterminées, respectivement des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables et des apprenants ayant des connaissances préalables	68
Figure 16: Feedback concernant l'exactitude de la réponse et feedback final concernant le score au QCM	84
Figure 17: Modèle cyclique des processus cognitifs et métacognitifs impliqués dans un apprentissage autorégulé, d'après le modèle de Zimmerman (2002).....	99
Figure 18: Copie d'écran du matériel expérimental utilisé dans l'étude 4.....	106
Figure 19: Copie d'écran du document comportant les zones d'intérêt déterminées sous Tobii Studio	108
Figure 20: Nombre moyen de comportements de révision mis en place par les apprenants selon le niveau de contrôle	116
Figure 21: Modèle de régression sous Amos 5.0.....	117

Figure 22: Répartition temporelle des transitions entre les zones d'intérêt pour un apprenant en condition « contrôle libre », ayant adopté une stratégie de type « linéaire » (sujet 8)	122
Figure 23: Répartition temporelle des transitions entre les zones d'intérêt pour un apprenant en condition « contrôle limité » ayant adopté une stratégie de type « révision » (sujet 15)	122
Figure 24: Représentation du traitement d'un texte linéaire	131
Figure 25: Représentation du traitement d'un hypertexte.....	131
Figure 26: Représentation graphique du modèle de charge cognitive augmenté (notre traduction, Gerjets & Scheiter, 2003)	135
Figure 27: Répartition des apprenants dans chaque stratégie de navigation en fonction du niveau de contrôle	150
Figure 28: Nombre moyen de comportements de révision mis en place pendant l'apprentissage en fonction du niveau de contrôle.....	151
Figure 29: Représentation graphique de la charge cognitive supposée lors d'un apprentissage hypermédia dont le contrôle est libre	153
Figure 30: Représentation graphique de la charge cognitive supposée lors d'un apprentissage hypermédia dont le contrôle est limité.....	153
Figure 31: Modèle intégratif de la compréhension de texte et d'images (traduction d'après Schnotz, 2005)	159
Figure 32: Score moyen aux questions d'inférence en fonction du niveau de contrôle et de la modalité de présentation des informations.....	168
Figure 33: Nombre moyen d'utilisations des fonctions de contrôle lors de la phase dite de révision en fonction du niveau de contrôle et en fonction de la modalité de présentation des informations	171

Index des tableaux

Tableau 1: Exemples d'items issus du questionnaire d'anxiété informatique	33
Tableau 2: Exemples d'items issus du questionnaire subjectif de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	34
Tableau 3: Comparaison des modèles structuraux MOD3 et MOD3b sous Amos 5.0	40
Tableau 4: Performances au post-questionnaire de connaissances selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine.....	42
Tableau 5: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine.....	43
Tableau 6 : Analyse de régression multiple concernant les performances de compréhension des apprenants ne disposant pas ou de peu de connaissances préalables	45
Tableau 7: Analyse de régression multiple concernant les performances de compréhension des apprenants disposant de connaissances préalables	45
Tableau 8: Performances au post-questionnaire de connaissances et à l'épreuve de rappel de la structure, selon le niveau de connaissances préalables et le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage	65
Tableau 9: Détails des performances des apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables aux questions de compréhension, selon le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage.....	66
Tableau 10: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage, selon le niveau de connaissances préalables dans le domaine et le niveau de contrôle de l'environnement d'apprentissage	67
Tableau 11: Exemples d'items permettant d'évaluer la métacompréhension des apprenants	85
Tableau 12: Performances au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert et la présence (avec FB) / absence de feedback (sans FB)	88
Tableau 13: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de contrôle offert et la présence / absence de feedback	89
Tableau 14: Evaluation subjective de la métacompréhension des apprenants pré-consultation et post-consultation.....	90
Tableau 15: Corrélations entre les mesures subjectives de la métacompréhension et les performances aux mesures objectives de connaissances en condition de « contrôle libre ».....	91

Tableau 16: Corrélation entre les mesures subjectives de la métacompréhension et les performances aux mesures objectives de connaissances en condition de « contrôle limité »	92
Tableau 17: Analyses de régression multiple concernant le score de compréhension et de régression simple concernant les comportements de révision, indépendamment du niveau de contrôle	93
Tableau 18: Exemples d'items issus du questionnaire d'activité métacognitive déclarée....	110
Tableau 19: Exemples d'items issus du questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage	111
Tableau 20: Scores moyens au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert	113
Tableau 21: Nombre moyen de processus d'auto-régulation déclarés selon le niveau de contrôle.....	114
Tableau 22: Analyse de régression multiple concernant le score aux questions d'inférence de niveau global	115
Tableau 23: Analyse de régression concernant le nombre moyen de comportements de révision	117
Tableau 24: Corrélation entre les processus métacognitifs déclarés et les niveaux d'autorégulation perçus.....	119
Tableau 25: Scores moyens au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage selon le niveau de contrôle offert par l'environnement	120
Tableau 26: Catégorisation des méthodes de mesure de la charge cognitive (Brünken, Plass & Leutner, 2003).....	141
Tableau 27: Scores au questionnaire de connaissances selon le niveau de contrôle offert	147
Tableau 28: Temps de réaction moyens pondérés (en ms) selon le niveau de contrôle offert	148
Tableau 29: Niveaux perçus de l'activité métacognitive selon le niveau de contrôle de l'environnement hypermédia	149
Tableau 30: Scores au questionnaire de ressenti vis-à-vis de l'épisode d'apprentissage....	150
Tableau 31: Récapitulatif des performances d'apprentissage obtenues dans les 5 études précédentes par les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine	157
Tableau 32: Récapitulatif des scores de charge cognitive perçue exprimés dans les 5 études précédentes par les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine	157

Tableau 33: Scores moyens au questionnaire de charge cognitive perçue, selon la modalité de présentation des information et le niveau de contrôle de l'épisode d'apprentissage	169
Tableau 34: Activité métacognitive perçue selon la modalité de présentation des informations et le niveau de contrôle offert dans l'environnement	170

Annexes

Annexe 1: Pré-questionnaire de connaissances

Consigne :

Voici 7 questions de connaissances.

Si vous ne savez pas répondre à une question, passez à la suivante. Lorsque vous pensez avoir terminé de compléter le questionnaire, faites signe à l'expérimentateur.

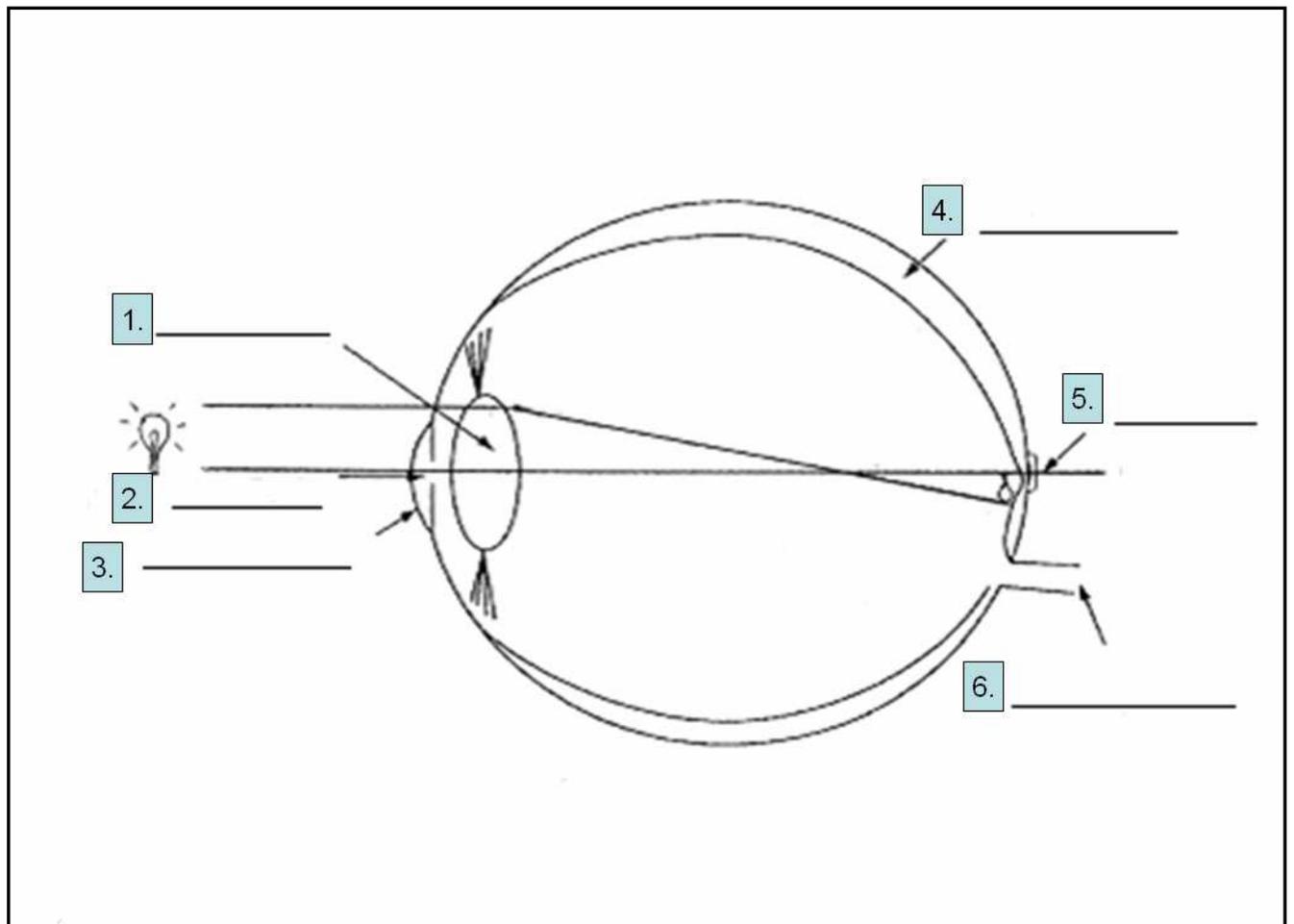
Questions :

Question 1 : En quelle unité s'exprime une longueur d'onde ?

Question 2 : Quels sont les 2 types de photorécepteurs présents dans la rétine ?

Question 3 : En psychophysique, quels termes désignent les 2 types de couleur étudiés ?

Question 4 : Compléter les légendes de ce schéma.



Question 5 : Citer le nom d'un test de détection des anomalies de la vision des couleurs ?

Question 6 : Quelle est la particularité d'une lumière monochromatique ?

Question 7 : Comment se nomme la théorie de la perception des couleurs de Hering ?

Annexe 2: Résumé des modèles d'anxiété informatique publiés dans la littérature et utilisés pour la construction du questionnaire

Loyd et Gressard, 1984	Heinsen, Glass et Knight, 1987	Marcoulides et Wang, 1990	Dyck, Gee et Smither, 1998	Gaudron et Vignoli, 2002	Pauli, Gilson et May, 2007
Confiance dans le fait d'apprendre à utiliser un ordinateur	Confiance dans le fait d'utiliser un ordinateur Anticipation positive envers l'utilisation d'un ordinateur			Anticipation positive concernant l'utilisation d'un ordinateur	
				Affects positifs lors de l'utilisation d'un ordinateur ou avant d'utiliser un ordinateur	
Peur des ordinateurs	Anxiété liée à un manque de connaissances, intimidation	Anxiété liée au fait de regarder d'autres utiliser un ordinateur	Relation indirecte aux ordinateurs : anxiété liée au fait de regarder d'autres utiliser un ordinateur ou parler d'ordinateur		Anxiété liée au caractère non familier et intimidant des ordinateurs, peur de se sentir "stupide"
		Anxiété liée aux croyances concernant le rôle des ordinateurs dans la société			
			Relation directe aux ordinateurs: anxiété liée à l'utilisation d'un ordinateur, ce qui inclut prendre des cours d'informatique		Peur de faire une erreur d'utilisation
				Activation physiologique négative	
				Affects négatifs lors de l'utilisation d'un ordinateur ou avant d'utiliser un ordinateur	

Annexe 3: Construction du questionnaire d'anxiété informatique

Facteurs	Items testés
Confiance dans l'apprentissage de l'utilisation	<p>J'ai confiance dans le fait que je puisse acquérir des compétences informatiques (Conf1).</p> <p>Tout le monde peut apprendre à utiliser un ordinateur s'il est patient et motivé (Conf2).</p> <p>Apprendre à utiliser un ordinateur est un challenge excitant (Conf3).</p> <p>Comme pour toute autre activité, plus on utilise un ordinateur, meilleur on devient (Conf4).</p> <p>Je me sens compétent(e) dans l'utilisation des Technologie de l'Information et de la Communication (Conf5).</p> <p>Lorsque je fais quelque chose de nouveau, j'ai confiance dans le fait de bien le faire (Conf6).</p> <p>Je me sens suffisamment compétent(e) pour aider quelqu'un qui n'aurait pas de connaissances informatiques (Conf7).</p>
Anticipation positive envers l'utilisation	<p>J'attends avec impatience de pouvoir utiliser un ordinateur dans le cadre de mon travail universitaire (Ant1).</p> <p>En général, j'apprécie d'utiliser un ordinateur (Ant2).</p> <p>J'attends avec impatience de pouvoir utiliser un ordinateur dans un cadre personnel (Ant3).</p> <p>Je recherche les situations d'utilisation d'un ordinateur (Ant4).</p>
Affects positifs / négatifs	<p>J'appréhende de devoir utiliser un ordinateur dans le cadre de mon travail universitaire (Aff1).</p> <p>J'appréhende de devoir utiliser un ordinateur dans un cadre personnel (Aff2).</p> <p>Lorsque j'utilise ou suis sur le point d'utiliser un ordinateur :</p> <p>J'ai confiance en moi (Aff3)</p> <p>Je suis anxieux (anxieuse) (Aff4)</p> <p>Je suis tendu(e) (Aff5)</p> <p>Je suis sûr(e) de moi (Aff6)</p> <p>Je suis nerveux (nerveuse) (Aff7)</p> <p>Je suis relaxé(e) (Aff8)</p>

	<p>Je suis contrarié(e) (Aff9)</p> <p>Je suis à l'aise (Aff10)</p> <p>Je suis inquiet (inquiète) (Aff11)</p>
Activation physiologique	<p>Lorsque j'utilise ou suis sur le point d'utiliser un ordinateur :</p> <p>J'ai les mains moites (Act1)</p> <p>J'ai des nœuds dans l'estomac (Act2)</p> <p>Mon rythme cardiaque s'accélère (Act3)</p> <p>Je transpire (Act4)</p>
Croyance sur le rôle des ordinateurs dans la société	<p>Je pense que les ordinateurs ont un rôle grandissant dans la société actuelle (Croy1).</p> <p>Je pense que les ordinateurs sont de plus en plus nécessaires dans le domaine de l'éducation et cela est une bonne chose (Croy2).</p> <p>Je pense que de plus en plus d'emplois nécessiteront des compétences informatiques (Croy3).</p> <p>Je pense qu'il y a de plus en plus de programmes TV ou d'articles portant sur le rôle grandissant des Technologies de l'Information et de la Communication dans la société actuelle (Croy4).</p> <p>Je pense qu'utiliser les ordinateurs peut simplifier la vie au quotidien (Croy5).</p>
Anxiété due à l'environnement	<p>Je n'apprécierai pas de passer du temps avec des personnes qui s'y connaissent en informatique (Anx1).</p> <p>Je n'apprécierai pas de prendre des cours en informatique (Anx2).</p>
Peur de l'erreur	<p>Cela me fait peur de me dire que je pourrais supprimer une grande quantité d'informations en me trompant de touche (Pe1).</p> <p>Lorsque j'utilise un ordinateur, j'ai peur d'être en situation de ne pas savoir faire (Pe2).</p> <p>J'hésite à utiliser un ordinateur de peur de faire une erreur que je ne saurais corriger (Pe3).</p> <p>Lorsque j'utilise un ordinateur, j'appréhende d'avoir un message d'erreur (Pe4).</p>

Note : les items surlignés correspondent aux items conservés dans le questionnaire final.

Annexe 4: Analyse factorielle du questionnaire d'anxiété informatique

	Composante 1	Composante 2	Composante 3
Aff11	.83		
Aff7	.826		
Aff4	.805		
Act1	.752		
Aff9	.749		
Aff5	.733		
Act2	.716		
Act4	.602		
Act3	.574		
Aff2	.529		
Aff1	.48		
Pe3	.478		
Pe4	.313		
Ant1		.713	
Conf3		.626	
Croy2		.598	
Ant4		.587	
Ant3		.56	
Croy5		.547	
Ant2		.371	
Aff3			.504
Conf1			.409
Aff6			.307
Conf7			.306
Conf5			.304
Conf6			.3
Variance expliquée	29.5%	11.48%	7.46%

Facteur 1 : Technophobie ; Facteur 2 : Technophilie ; Facteur 3 : Compétences perçues

Notes : N = 120

Méthode d'extraction : factorisation en composantes principales ; méthode de rotation : Promax avec normalisation de Kaiser ; la rotation a convergé en 10 itérations.

Aff = affect positif / négatif ; Act = activation physiologique ; Pe = peur de l'erreur ; Conf = confiance dans l'apprentissage de l'utilisation ; Ant = anticipation positive envers l'utilisation ; Croy = croyance sur le rôle des ordinateurs

Consigne :

Veillez classez chacun des noms indiqués en ligne dans le domaine informatique qu'il convient. Si vous ne savez répondre, cochez la réponse « Je ne sais pas ».

	Système d'exploitation	Sécurisation	Partage de fichiers	Bureautique	Outils de communication	Navigateur Internet	Traitement Son / Image / Vidéo	Création de site Internet	Program-mation	Je ne sais pas
1. Ad Aware	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Dreamweaver	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Firefox	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Cooledit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Java	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Latex	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. MSN Messenger	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. E-Mule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. ICQ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Mandrec	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Mandriva One	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. C++	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Opera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. BitTorrent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Avast !	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Works	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Adobe Première	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Consigne :

Ce questionnaire comprend 14 questions. Répondez-y aussi précisément qu'il vous est possible. Tous les éléments de réponse étaient présents dans le document que vous venez de consulter mais si vous ne saviez pas répondre à une question, passez à la suivante.

Questions de type « paraphrase »

Question 1 : Quel est l'écart de mesure dans lequel se situe le spectre lumineux ?

Question 2 : Qui démontre que la lumière visible est le résultat de l'addition de toutes les couleurs ?

Question 4 : Quel terme désigne le système de fonctionnement des cônes ?

Question 7 : Quelles sont les couleurs mises en œuvre dans les synthèses soustractives ?

Question 8 : Quel mélange de lumières colorées donne une lumière blanche ?

Question 12 : Quelle est la définition du terme « dichromatopsie » ?

Question 14 : Sur quel chromosome se situent les gènes déficients responsables des cécités de la perception des couleurs ?

Questions de type « inférence »²

Question 3 : Pourquoi peut-on dire d'une goutte d'eau qu'elle joue le rôle de prisme divergeant dans le phénomène d'arc-en-ciel ?

Question 5 : D'après le fonctionnement de la rétine, pourquoi peut-on dire que « la nuit, tous les chats sont gris » ?

Question 6 : Expliquer la propriété des pigments d'un objet noir.

Question 9 : Selon la théorie mixte, quel est le processus de traitement enclenché face à un objet bleu ?

Question 10 : Quel est l'apport de Young et Helmholtz conservé dans la théorie mixte ?

Question 11 : Quel est l'apport de Hering conservé dans la théorie mixte ?

Question 13 : Pourquoi les sujets achromates sont-ils atteints de photophobie (éblouissement en situation d'éclairement diurne) ?

² Dans l'étude 2, sont considérés comme des questions d'inférence à un niveau local les items 5, 6 et 9 ; sont considérés comme des questions d'inférence à un niveau global les items 3, 10, 11 et 13.

Annexe 8: Epreuve de rappel de la structure du document

Consigne :

Pouvez-vous rappeler la structure du document que vous venez de consulter ?

▪ *Consigne*

- -----
- -----
 - -----
 - -----
 - -----
 - -----
 - -----
 - -----
 - -----
- -----
- -----
- -----
 - -----
 - -----
- -----
 - -----
 - -----
- -----
 - -----
 - -----
- -----

Annexe 9: Questions utilisées dans le QCM inséré

En quelle unité s'exprime une longueur d'onde ?

- En micromètre
- En nanomètre
- En hertz
- Je ne sais pas

Quel est l'écart de mesure dans lequel se situe le spectre lumineux ?

- Entre 350 et 650 nm
- Entre 400 et 700 nm
- Entre 450 et 750 nm
- Je ne sais pas

A quoi fait référence le terme « couleur spectrale » ?

- Aux longueurs d'onde émises par une source de lumière
- Aux longueurs d'onde réfléchies par les surfaces
- Aux longueurs d'onde absorbées par les surfaces
- Je ne sais pas

Quelles sont les couleurs mises en œuvre dans la synthèse additive ?

- Bleu, vert et jaune
- Bleu, jaune et rouge
- Bleu, vert et rouge
- Je ne sais pas

Parmi ces objets, lequel a le plus fort coefficient de réflexion ?

- Une craie blanche
- Une veste rouge
- Une voiture noire
- Je ne sais pas

Qu'est-ce qu'un photorécepteur ?

- Une cellule réceptrice des couleurs
- Une cellule réceptrice de la lumière
- Une cellule réceptrice de la forme
- Je ne sais pas

Quel terme désigne le système de fonctionnement des bâtonnets ?

- Chromique
- Photopique
- Scotopique
- Je ne sais pas

Comment se nomme la théorie de Young-Helmholtz ?

- Théorie mixte
- Théorie des couleurs complémentaires
- Théorie trichromatique
- Je ne sais pas

Quel est l'effet consécutif d'un triangle vert ?

- Un halo rouge ayant la même forme
- Un halo jaune ayant la même forme
- Un halo bleu ayant la même forme
- Je ne sais pas

Selon la théorie mixte, quels cônes sont stimulés face à un objet blanc ?

- Les cônes sensibles au rouge et au vert
- Les cônes sensibles au bleu, au rouge et au vert
- Aucun cône n'est stimulé
- Je ne sais pas

Annexe 11: Tableau de codage des verbalisations recueillies

Macro-processus	Micro-processus	Description	Exemples issus des protocoles verbaux différés
Planification	Planification	Déterminer un but et / ou une hiérarchie de sous-buts	<i>La consigne disait de lire une fois en entier, alors je me suis dit que j'allais lire une fois comme ça, pour voir ce qu'il y avait dans chaque page et puis revenir après pour bien mémoriser</i>
	Activation de connaissances	Rechercher en mémoire de connaissances préalables pertinentes en début de tâche ou pendant la tâche	<i>Ça me disait quelque chose, les couleurs par absorption. J'ai essayé de me souvenir de ce qu'on avait vu en cours</i>
	Recyclage des buts en mémoire	Réactiver le but / les sous-buts en mémoire de travail	<i>Là je suis retournée sur la consigne, pour relire, voir ce que je devais faire après</i>
Surveillance	Auto-questionnement	Se poser une question et relire / réexaminer pour améliorer la compréhension du contenu informationnel	<i>[Cette page là était un peu dure ...] J'me demandais comment fonctionnent les filtres, comment ça fonctionne quand il y a plusieurs filtres, j'ai dû relire 2-3 fois</i>
	Surveillance de la stratégie	Commentaire sur l'utilité / l'efficacité d'une stratégie	<i>Au début, je regardais pas les titres des pages et puis après, je me suis dit que si je voulais revenir sur un truc plus tard, je saurais pas trop comment la retrouver. Du coup, j'ai utilisé le sommaire en les lisant à chaque fois.</i>
	Jugement de savoir	Déterminer si ce qui a été lu est compris ou non	<i>(Arrivé à la dernière page) donc je l'ai lu... et puis après j'ai essayé de voir sur le côté les pages que je comprenais pas bien, où j'avais besoin de relire</i>
	Sentiment de savoir	Conscience d'avoir lu auparavant cette information, de l'avoir comprise mais ne pas pouvoir la rappeler. Mentionner n'avoir jamais rencontré cette information auparavant	<i>J'étais sûre d'avoir vu ça en cours mais je me souvenais plus les auteurs de la théorie, en quoi ça consistait...</i>
	Progression vers le but	Déterminer si les buts : sous-buts précédents ont été atteints	<i>J'ai tout lu une fois, je suis revenue sur ce que je devais lire encore une fois... Je me suis dit que je devrais m'en sortir avec ça pour le questionnaire donc j'ai arrêté là le document</i>

Utilisation de stratégies	Sélection des sources d'informations	Sélection d'une nouvelle source d'information dans un même nœud / sélection d'un nouveau nœud d'informations	<i>J'ai lu le texte là sur le côté, et puis après j'ai essayé de tout repérer les noms sur le schéma</i>
	Mémorisation	Tentative de mémorisation d'informations verbales / graphiques	<i>J'ai lu plusieurs fois les noms des maladies pour bien les retenir</i>
	Inférence	Faire des inférences sur ce qui vient d'être lu / vu / entendu	<i>Je suis revenue sur la page de la rétine pour bien comprendre : si les cônes ne fonctionnent pas alors y'a que les bâtonnets et les bâtonnets ça permet de voir en noir et blanc.</i>
	Elaboration de connaissances	Elaborer de nouvelles connaissances sur les informations lues / vues / entendues et les connaissances préalables	<i>La fovéa, je me souvenais que c'est la vision des détails, là où il y a plus de cônes, donc j'ai regardé l'image. On voit qu'il y a plus de cônes, je me suis dit que ça devait être une image de la fovéa.</i>

Annexe 13: Analyse factorielle du questionnaire d'activité métacognitive perçue

	Composante 1	Composante 2	Composante 3
Maq10	.816		
Maq6	.707		
Maq16	.629		
Maq12	.532		
Maq2		.917	
Maq1		.747	
Maq9		.711	
Maq8		.638	
Maq5		.61	
Maq14			.881
Maq15			.679
Maq11			.630
Maq17			.596
Variance expliquée	22.94%	15%	11.16%

Facteur 1 : Planification de l'épisode d'apprentissage ; Facteur 2 : Surveillance de l'avancée vers l'objectif ; Facteur 3 : Utilisation de stratégie

Notes : N = 45

Méthode d'extraction : factorisation en composantes principales ; méthode de rotation : Promax avec normalisation de Kaiser

La rotation a convergé en 10 itérations

Annexe 15: Grille de codage utilisée pour la triple tâche

Quand le signal sonore a retentit, ...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
▪ Je lisais les informations contenues dans la page pour les comprendre	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je mémorisais les informations contenues dans la page	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je regardais l'image contenue dans la page	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je vérifiais que j'avais bien consulté toutes les pages d'informations	<input type="checkbox"/>																								
▪ J'essayais de déterminer les domaines pour lesquels je devais améliorer mes connaissances	<input type="checkbox"/>																								
▪ J'utilisais les fonctions de contrôle pour atteindre la page à consulter par la suite	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je sélectionnais dans le sommaire la page à consulter par la suite	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je recherchais une page déterminée dans le sommaire	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je recherchais une page déterminée par les fonctions de contrôle	<input type="checkbox"/>																								
▪ Je regardais dans le sommaire la position de la page actuellement consultée	<input type="checkbox"/>																								

Résumé

Un environnement d'apprentissage hypermédia se caractérise par un haut niveau de contrôle de l'apprenant sur son épisode d'apprentissage: Or, ce haut niveau de contrôle ne bénéficie pas à tous les apprenants selon certaines différences interindividuelles. Les objectifs de cette étude sont donc de déterminer le(s) facteur(s) influençant l'utilisation des fonctions de contrôle dans un environnement d'apprentissage hypermédia, et de comprendre comment il(s) influence(nt) à la fois l'utilisation de l'environnement d'apprentissage et les performances d'apprentissage. Les premières expériences permettent de souligner l'importance du niveau de connaissances préalables des apprenants dans le domaine. En effet, en situation d'apprentissage hypermédia, les apprenants n'ayant pas ou peu de connaissances préalables dans le domaine adoptent des stratégies de consultation non appropriées (Etude 1). Or, lorsque le contrôle du séquençage est limité, il est observé que ces mêmes apprenants mettent en place des comportements de navigation plus pertinents, obtiennent de meilleures performances d'apprentissage (Etude 2) et éprouvent moins de difficultés à évaluer leur niveau de connaissances réel en fin de consultation (Etude 3). L'utilisation d'une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires couplée à un protocole verbal différé met en évidence une activité métacognitive plus importante de ces apprenants (Etude 4). Ainsi, les apprenants en situation de contrôle libre ou limité de l'épisode d'apprentissage se différencient-ils concernant la charge cognitive liée à l'utilisation de l'environnement hypermédia en lui-même et la pertinence des traitements cognitifs réalisés sur le contenu informationnel (Etude 5). La cohérence de cet ensemble d'études étant établie (Etude 6), les résultats sont discutés en termes de retombées pour la conception d'environnements hypermédiés pour l'apprentissage.

Mots-clefs

Apprentissage hypermédia, connaissances préalables dans le domaine, contrôle du séquençage, activité métacognitive, charge cognitive.

Abstract

Level of learner control on hypermedia learning session: Influences on metacognitive activity and learning outcomes

A high level of learner control characterizes hypermedia learning environments. However this increased control over access to information is not equally beneficial to all learners depending on interindividual differences. This thesis aims at determining factors influencing the use of control functions in a hypermedia learning environment and understanding how these factors have an impact on both hypermedia use and learning outcomes. The first experiments underlined the importance of prior domain knowledge level. Indeed, low knowledgeable learners adopted inappropriate reading strategy during hypermedia learning (Study 1) However we observed that they had more relevant navigation behaviors and better comprehension outcomes when control was limited (Study 2). They were also more accurate when assessing their understanding of information at the end of the learning session (Study 3) An eye-tracking method and a think-aloud protocol were jointly used and results indicated that they had a greater metacognitive activity during learning (Study 4) Thus cognitive load linked to hypermedia using activity and relevance of information processing were affected by the level of learner control (Study 5). Once coherence of this serie of experiments has been established (Study 6), outcomes and design issues are discussed.

Keywords

Hypermedia learning, prior domain knowledge, sequence control, metacognitive activity, cognitive load.



Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication

EA 1285

Université Rennes 2 Haute Bretagne

Place du Recteur Henri Le Moal

CS 24 307

35 043 Rennes Cedex

