

UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

THESE / Université Rennes 2
sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ RENNES 2
Mention : Psychologie
Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

présentée par
Jonathan Fernandez
Préparée au LP3C (EA 1285)
Laboratoire de Psychologie :
Cognition, Comportement, Communication

Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs

Thèse soutenue le 8 décembre 2017
devant le jury composé de :

Nathalie HUET
Professeure des Universités, Université Toulouse Jean Jaurès / rapporteur

Jean-François ROUET
Directeur de Recherche au CNRS, Université de Poitiers / rapporteur

Denis ALAMARGOT
Professeur des Universités, ESPE, Université Paris-Est Créteil / examinateur

Éric JAMET
Professeur des Université, Université Rennes 2 / Directeur de thèse

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

UNIVERSITÉ RENNES 2 – HAUTE BRETAGNE

Unité de Recherche
Ecole Doctorale - Humanités et Sciences de l'Homme

Sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

Favoriser un apprentissage actif
Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs

Thèse de Doctorat

Discipline : Psychologie

Présentée par Jonathan FERNANDEZ

Directeur de thèse : Éric Jamet

Soutenue le 8 décembre 2017

Jury :

Nathalie HUET, Professeure des Universités, Université Toulouse Jean Jaurès / rapporteur

Jean-François ROUET, Directeur de Recherche au CNRS, Université de Poitiers / rapporteur

Denis ALAMARGOT, Professeur des Universités, Université Paris-Est Créteil / examinateur

Éric Jamet, Professeur des Université, Université Rennes 2 / Directeur de thèse

AVANT-PROPOS

Ce travail de thèse a fait l'objet de plusieurs publications et communications.

Publications

Fernandez J. & Jamet, E. (en révision). Undesirable easiness: making tests simpler cancels their beneficial effects on self-regulated learning. *Learning and Instruction.*

Fernandez J. & Jamet, E. (2017). Extending the testing effect to self-regulated learning, *Metacognition and Learning, 12*(2), 131-156. DOI: 10.1007/s11409-016-9163-9

Fernandez J. (2016). Améliorer l'Apprentissage à Partir d'Environnements Informatiques : Effets des Quiz Interactifs sur les Processus Cognitifs et Métacognitifs. In S. Iksal, C. Michel & C. Pelissier (Eds.), *Actes de la conférence EIAH 2016* (pp. 157–162). Montpellier.

Jamet, E. & Fernandez J. (2016) Enhancing interactive tutorial effectiveness through visual cueing, Educational Technology Research & Development. DOI: 10.1007/s11423-016-9437-6.

Communications nationales et séminaires de recherche

Fernandez J (2016). Améliorer l'Apprentissage à Partir d'Environnements Informatiques : Effets des Quiz Interactifs sur les Processus Cognitifs et Métacognitifs. Article accepté pour le colloque d'EIAH, 16-17 juin, Montpellier, France

Fernandez J & Jamet, E (2017). Effets des tests sur les processus cognitifs et métacognitifs : résultats et méthodes de recherche. Séminaire de recherche au laboratoire TECHNE, Université de Poitiers.

Fernandez J & Jamet, E (2016). Comprendre l'effet des tests sur l'apprentissage autorégulé. Séminaire de recherche au laboratoire CLLE-LTC, Université de Toulouse.

Fernandez J & Jamet, E (2016). Effet de la recalibration du processus de *monitoring* sur l'apprentissage autorégulé. Journée des doctorants, CRPCC, Université de Rennes 2.

Communications internationales

Fernandez J & Jamet, E (2016). Understanding the practice testing effect on SRL processes. Paper accepted for presentation at the EARLI SIG16 conference on Metacognition, August 23-26, Nijmegen, Netherlands.

Fernandez J & Jamet, E (2016). Enhancing Learning with Text and Diagram by Combining Prompting with Practice Testing. Paper accepted for presentation at the EARLI SIG2 conference on Comprehension of Text and Graphics, July 11-13, Geneva, Switzerland.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement Éric Jamet pour avoir accepté d'encadrer ma thèse, pour sa sympathie et sa confiance. Merci de m'avoir formé au métier de chercheur tout au long de ces années.

Je remercie les Professeurs Denis Alamargot, Nathalie Huet et Jean-François Rouet qui me font l'honneur de faire partie du jury de thèse. Je vous remercie sincèrement de prendre de votre temps pour examiner mon travail.

Je tiens également à remercier l'Université Rennes 2, l'Ecole Doctorale « Humanités et Sciences de l'Homme » ainsi que le laboratoire LP3C pour m'avoir permis de réaliser cette thèse dans d'excellentes conditions de travail.

Je voudrais poursuivre ces remerciements en mentionnant l'ensemble des membres du LP3C pour leur convivialité et leur disponibilité pour répondre à mes fréquentes questions. Merci notamment à Audrey Noël d'avoir pris le temps de vérifier la validité de mon matériel d'apprentissage et à Alessandro Guida pour les nombreuses références bibliographiques. Un grand merci à Corentin Gonthier pour ses éclairages et précieux conseils statistiques.

Bien évidemment, je tiens à saluer mes collègues doctorants et ingénieurs. Plus particulièrement, un grand merci à Natacha Métayer pour ses nombreux conseils et pour le temps consacré à la relecture de ce manuscrit de thèse. Sylvain Fleury et Nicolas Martin, merci pour les nombreuses discussions théoriques, méthodologiques et statistiques. Merci Nicolas d'avoir toujours pris le temps de m'aider à mieux comprendre le langage R. Enfin, un très grand merci à Cyndie Auffray pour ces longues sessions de double codage sur les expériences 2 et 3.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des étudiants ayant participé aux expériences. Je suis extrêmement reconnaissant pour leurs retours critiques et leur enthousiasme malgré les temps de passation importants.

Je tiens à remercier mes collègues de l'Université de Rouen et tout particulièrement Diane Bedoin et Julien Despois pour leur accueil chaleureux au sein de l'ESPE lors de mon premier poste d'ATER. Cette année à l'ESPE aura influencé, à de nombreuses reprises, la rédaction de cette thèse.

Enfin, je souhaite conclure ces remerciements en adressant une mention spéciale pour Jessica Guilbert et Martin Ragot. Merci très sincèrement à vous deux pour avoir contribué, tout au long de ces quatre années, à l'accomplissement de cette thèse. Merci pour votre regard critique et exigeant toujours apprécié. Merci pour vos nombreux retours et réflexions sur le perfectionnement des protocoles expérimentaux, des mesures utilisées et du matériel expérimental. Merci pour avoir consacré tant d'heures à réfléchir à l'amélioration de la grille de codage. Merci pour ces longues sessions de double codage. Merci pour le temps dédié à la relecture de mon manuscrit. Merci tout simplement d'avoir, à de maintes reprises, partagé mon intérêt pour la psychologie, l'éducation et la recherche.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 12

CHAPITRE 1 : Compréhension et traitements cognitifs des documents multimédias 14

1. Compréhension de document multimédia 15

1.1. Compréhension de texte 16

1.1.1. La micro et macrostructure 17

1.1.2. La base de texte et le modèle de situation 18

1.2. Compréhension des textes illustrés 19

2. Activités cognitives lors d'un apprentissage multimédia 20

2.1. L'apprentissage actif 22

2.1.1. Même stimulus, différents niveaux de traitement 22

2.1.2. Favoriser l'apprentissage actif 24

2.1.3. Des processus cognitifs aux stratégies cognitives 26

2.2. Les stratégies d'apprentissage 26

2.2.1. Stratégies d'apprentissage de haut et bas niveau 28

2.2.2. Stratégies métacognitives 31

2.2.3. Les difficultés d'apprentissage en autonomie : le déficit de production de stratégies 31

CHAPITRE 2 : La régulation de l'activité d'apprentissage 33

1. Le modèle de l'apprentissage auto-régulé de Winne et Hadwin 33

2. Métacognition 36

2.1. Les connaissances métacognitives 39

2.2. La régulation de la cognition 40

2.2.1. Le processus de monitoring 41
2.2.2. Le processus de control 44
3. L'origine métacognitive d'un apprentissage autorégulé inefficace 45
3.1. Le fonctionnement du monitoring et les origines de son déficit 46
3.1.1. La précision du monitoring 47
3.1.2. La fréquence de l'activité de monitoring durant la tâche 48
3.2. Du déficit du processus de monitoring au déficit du processus de control 49
CHAPITRE 3 : Optimiser l'apprentissage autorégulé des multimédias 52
1. Soutenir les processus métacognitifs 53
1.1. Soutenir le processus de control 53
1.2. Soutenir le processus de monitoring 54
2. L'effet des tests d'entraînement sur l'apprentissage 58
2.1. L'effet direct des tests 59
2.2. L'effet indirect des tests 61
3. L'effet indirect des tests : le potentiel rôle du monitoring 64
4. Mesurer l'effet des tests sur les processus cognitifs et métacognitifs 67
4.1. Mesurer l'effet des tests sur la précision du monitoring 67
4.2. Mesurer l'effet des tests sur l'AAR 70
Objectif de la thèse 74
PARTIE EXPERIMENTALE 77
CHAPITRE 4 – Expérience 1 : Etendre l'effet des tests à l'AAR 78
1. Méthode 79
1.1. Participants 79
1.2. Matériel 79

1.2.1. Environnements d'apprentissage 79
1.2.1.1. Module d'entraînement. 80
1.2.1.2. Environnement numérique d'apprentissage. 81
1.2.2. Conception des quiz et du questionnaire de mémorisation 82
1.2.2.1. Création, prétest et sélection des questions. 82
1.2.2.2. Répartition des questions entre les quiz et le questionnaire de mémorisation. 82
1.2.2.3. Modalités de réponse aux questions et feedbacks. 83
1.3. Mesures 84
1.4. Procédure 86
1.5. Préparation des données 89
1.5.1. Calcul de l'indice d'ajustement du monitoring. 89
1.5.2. Codage des processus d'AAR. 90
1.6. Analyse des données 93
2. Résultats 95
2.1. Questionnaire de connaissances antérieures 95
2.2. Effets des quiz sur les performances d'apprentissage 95
2.3. Effet des quiz sur l'ajustement du monitoring 96
2.4. Identification des processus d'AAR efficients 98
2.5. Effet des quiz sur les processus d'AAR 99
2.6. L'effet bénéfique des quiz sur la mémorisation des participants peut-il s'expliquer par un AAR de meilleure qualité ? 100
3. Discussion 102
CHAPITRE 5 - Expérience 2 : Facilités indésirables : simplifier la difficulté des tests d'entraînement supprime leur effet sur l'AAR 106

1. Méthode 107
1.1. Participants 107
1.2. Conception des quiz standards et des quiz facilités 108
1.3. Matériel, mesures et procédure 109
1.4. Codage des processus d'AAR 109
1.5. Analyse des données 111
2. Résultats 111
2.1. Questionnaire de connaissances antérieures 111
2.2. Les quiz facilités sont-ils bien plus simples ? 111
2.3. Effet de la difficulté des quiz sur la performance d'apprentissage 112
2.4. Effet des performances aux quiz sur les estimations de performance 113
2.5. Effets de la difficulté des quiz sur la précision du monitoring 113
2.6. Identification des processus d'AAR efficients 115
2.7. Effet des quiz sur l'AAR 116
2.8. Les processus d'AAR médiatisent-ils la relation entre quiz et performances d'apprentissage ? 119
3. Discussion 121
CHAPITRE 6 - Expérience 3 : Effets de la combinaison des incitations stratégiques aux tests d'entraînement sur l'AAR 125
1. Méthode 126
1.1. Participants 126
1.2. Conception des quiz et des incitations stratégiques 126
1.3. Matériel, mesures et procédure 127
1.4. Codage des processus d'AAR 130

1.5. Analyse des données 130
2. Résultats 130
2.1. Questionnaire de connaissances antérieures 130
2.2. Effet des quiz et des incitations stratégiques sur les performances d'apprentissage 130
2.3. Effet des performances aux quiz sur les estimations d'apprentissage 132
2.4. Effets des conditions expérimentales sur le monitoring 132
2.5. Identification des processus d'AAR efficaces 135
2.6. Effet des quiz et des incitations stratégiques sur l'AAR 136
2.7. Les processus d'AAR médiatisent-ils la relation entre les variables expérimentales et les performances d'apprentissage ? 139
3. Discussion 143
CHAPITRE 7 - Expérience 4 : L'effet de tests d'entraînement à l'enseignement sur la précision du monitoring, l'AAR et la compréhension 148
1. Méthode 150
1.1. Participants 150
1.2. Conception des tests d'enseignement 150
1.3. Matériel, mesures et procédure 151
1.4. Codage des processus de régulation 152
1.5. Analyse des données 153
2. Résultats 153
2.1. Questionnaire de connaissances antérieures 153
2.2. Effet des tests sur les performances d'apprentissage 153
2.3. L'effet des tests sur la calibration du monitoring 154
2.4. Identification des processus d'AAR efficients 156

2.5. Effet des tests sur les processus d'AAR 157

2.6. L'effet bénéfique des tests sur la mémorisation et la compréhension peut-il s'expliquer par un meilleur AAR ? 160

3. Discussion 162

CHAPITRE 8 : Discussion générale 166

1. L'AAR chez les étudiants : une tendance à un traitement passif des informations 167

2. Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs 171

2.1. Effet des tests d'entraînement sur le monitoring 172

2.2. Effet des tests d'entraînement sur l'AAR 174

3. L'effet indirect des tests : implications pour l'éducation 176

4. Limites et perspectives 178

BIBLIOGRAPHIE 185

ANNEXES 233

LISTE DES TABLEAUX 274

LISTE DES FIGURES 276

INTRODUCTION

Maitriser les notions scientifiques enseignées à l'université peut s'avérer être une tâche difficile pour certains étudiants (e.g., Azevedo, 2005, 2014 ; Greene *et al.*, 2015). La difficulté de cette tâche proviendrait, au moins en partie, du fait que les apprenants doivent traiter des documents multimodaux complexes contenant de nombreuses informations interreliées, un vocabulaire souvent nouveau et ce, avec une aide limitée de la part des enseignants (e.g., Britt, Richter, & Rouet, 2014 ; Mayer, 1989b ; Schnotz, 2002, 2005). La compréhension des informations contenues dans ce type document nécessite un traitement actif de l'information impliquant la maitrise et la coordination de différentes stratégies d'apprentissage efficaces (Dunlosky, Rawson, Marsh, Nathan, & Willingham, 2013 ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Wittrock 1974/2010, 1978). Toutefois, les étudiants universitaires auraient tendance à déployer des stratégies d'apprentissage inadaptées favorisant un traitement passif des documents (e.g., Bjork, Dunlosky, & Kornell, 2013 ; Karpicke, Butler & Roediger, 2009 ; Mayer, 1996 ; Pressley & Afflebach, 1995 ; Schellings, Aarnoutse, & Van Leeuwe, 2006). Selon les modèles de l'apprentissage autorégulé, le déploiement des stratégies est déterminé par l'activité métacognitive des étudiants (e.g., Baker & Brown, 1984 ; Thiede, Anderson, & Therriault, 2003 ; Thiede & Dunlosky, 1999 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013). Cette dernière permet, d'une part, d'estimer dans quelle mesure les objectifs d'apprentissage fixés par l'apprenant sont atteints (processus *monitoring*) et d'autre part, de réguler l'activité stratégique sur la base de ces estimations (processus de *control*). Or, les recherches ont montré que les étudiants ont tendance à surestimer la qualité de leur apprentissage (Bjork *et al*., 2013 ; Dunlosky & Rawson, 2012 ; Yue, Soderstrom, & Bjork, 2015) et ne connaissent pas toujours les stratégies efficaces pour mémoriser et comprendre un document (Pressley, Goodchild, Fleet, Zajchowski, & Evans, 1989 ; Pressley & Hilden, 2007). L'objectif de ce travail de thèse est double. Tout d'abord, il s'agira de mieux comprendre l'origine de ces déficits des processus métacognitifs de *monitoring* et de *control*. Par ailleurs, nous étudierons dans quelle mesure les tests d'entraînement peuvent constituer un dispositif de soutien à ces processus métacognitifs lors de l'apprentissage d'un document multimédia. Autrement dit, il s'agira de savoir si l'utilisation de tests d'entraînement peut favoriser un apprentissage actif.

Le premier chapitre de cette thèse traitera de la compréhension des documents multimédias. Dans ce cadre, nous identifierons les activités cognitives nécessaires à l'élaboration d'un modèle mental cohérent lors de l'apprentissage de ce type de document. Le second chapitre présentera les mécanismes psychologiques impliqués dans la régulation de l'activité cognitive. Le modèle de l'apprentissage autorégulé et les différents processus métacognitifs au centre de cette régulation seront alors plus spécifiquement décrits. Enfin, nous exposerons, dans un troisième chapitre, des pistes de réflexion pour soutenir les processus de *monitoring* et de *control*. A l'issue de cette revue théorique, nous présenterons notre approche expérimentale. Dans ce cadre, quatre études ont été réalisées afin de déterminer si des étudiants qui reçoivent régulièrement des tests d'entraînement pendant une tâche d'apprentissage déploient une activité stratégique plus adaptée à l'objectif de cette tâche que des étudiants qui n'en reçoivent pas. Par ailleurs, il s'agira de mieux comprendre les mécanismes sous-tendant l'effet des tests sur l'apprentissage ainsi que d'identifier les conditions qui favorisent leur efficacité.

CHAPITRE 1 : Compréhension et traitements cognitifs des documents multimédias

Les documents multimédias se définissent par la diversité des formats de présentation des informations qui les composent (Ainsworth, 1999, 2006 ; Mayer, 2009, 2014 ; Schnotz & Bannert, 2003). Le plus souvent, ce type de support comprend à la fois des informations propositionnelles et des informations imagées. Les informations propositionnelles peuvent être présentées sous forme orale ou écrite. Les informations imagées peuvent être présentées dans un format statique, comme des graphiques, des schémas ou des photos, ou dans un format dynamique, comme des animations ou des vidéos (voir Berney & Betrancourt, 2016 pour une récente méta-analyse sur l'efficacité des formats dynamiques versus statiques). Les manuels scolaires constituent souvent la forme la plus simple et la plus répandue des multimédias. Par exemple, en biologie, les notions sont souvent proposées sous forme de textes accompagnés d'illustrations (voir Fig. 1). Cette forme de présentation de l'information permet de fournir aux apprenants des représentations à la fois explicatives et analogiques de phénomènes scientifiques complexes ainsi qu'une description des relations causales entretenues entre les différents éléments des phénomènes étudiés (Mayer, 1989a, 1989b, 2009). Ces caractéristiques propres aux multimédias pourraient, sous certaines conditions, favoriser la compréhension de notions complexes. Toutefois, offrir des formats de présentation adaptés aux apprenants est une condition essentielle mais non suffisante. En effet, apprendre pour comprendre requiert aussi de la part des apprenants un traitement actif de l'information, c'est-à-dire l'utilisation de stratégies d'apprentissage adaptées pour permettre l'élaboration d'une représentation complète et correcte des concepts abordés (Scheiter, Schubert, Gerjets, & Stalbovs, 2015). Dans ce chapitre nous proposerons, dans une première partie, de définir la notion de compréhension, l'activité de compréhension de texte et dans quelle mesure les illustrations peuvent favoriser cette compréhension. Ensuite, dans une seconde partie, nous définirons les processus de traitement de l'information nécessaires à la compréhension d'un document multimédia. Il sera discuté de

l'importance d'un apprentissage actif ainsi que des stratégies d'apprentissage qui permettent un tel apprentissage.

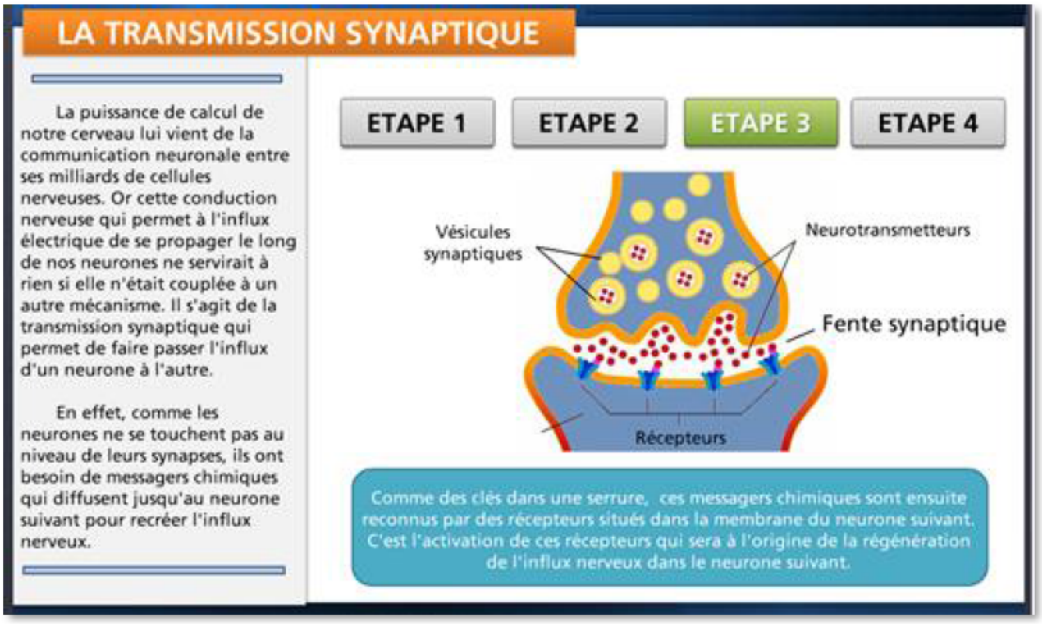


Fig. 1. Exemple d'un cours multimédia portant sur la transmission synaptique extrait du site libre de droit « le cerveau à tous les niveaux ».

1. Compréhension de document multimédia

La compréhension a souvent été décrite comme une notion vague et difficile à définir (Kintsch, 2005 ; Shuell, 1986). À l'inverse, il est plus aisé d'identifier ce qui ne tient pas de la compréhension. Par exemple, récupérer en mémoire un numéro de téléphone ou traduire un mot dans une langue étrangère sont deux capacités qui tiennent davantage de la mémorisation que de la compréhension (Shuell, 1986 ; Sweller, van Merrienboer, & Paas, 1998). Selon Sweller *et al.* (1998), la compréhension ne peut porter que sur un matériel complexe, c'est-à-dire, un matériel qui comprend de nombreux éléments interreliés entre eux (voir aussi Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). Les documents multimédias décrivant des phénomènes scientifiques répondent généralement à cette définition (Britt *et al.*, 2014). Par exemple, dans les manuels scolaires de biologie, la transmission synaptique est très souvent décrite à partir de textes illustrés représentant deux neurones s'échangeant des molécules chimiques. Dans cette situation, être

capable de récupérer en mémoire le nom des différentes parties d'un neurone et des molécules mises en jeu dans ce processus chimique est une étape préalable importante à la compréhension. Le traitement et la mémorisation de la terminologie constituent, par ailleurs, la première difficulté de la compréhension d'un phénomène scientifique (Britt *et al.,* 2014). Toutefois, dans cet exemple, cette capacité de récupération, à elle seule, n'atteste pas de la compréhension de la communication neuronale. Un apprenant doit aussi être capable, à partir du texte et des illustrations présentées, de lier les différents éléments ensemble, d'identifier les rapports de causalité entre chacun de ces éléments et enfin d'élaborer une représentation mentale unique et cohérente du phénomène scientifique étudié (Britt *et al.*, 2014 ; Mayer, 1989b ; Schnotz, 2002, 2005). Cette représentation mentale, aussi appelée modèle mental, peut être définie comme une reconstruction d'une réalité externe, ici l'information textuelle et imagée, en une représentation interne analogue intégrant les différents éléments du système, leurs dispositions et leurs interactions (Johnson-Laird, 2004). L'élaboration d'un modèle mental s'apparente alors à une activité de construction de sens au cours de laquelle les informations du document sont sélectionnées, organisées et intégrées entre elles et avec nos connaissances antérieures (Fiorella & Mayer, 2016 ; Wittrock 1974/2010, 1978). Le résultat de ce processus permet à l'apprenant de raisonner sur le concept étudié et de transférer ses connaissances acquises à de nouvelles situations (Mayer, 1989a). Selon Mayer (1989a ; 2009), cette capacité de transfert est considérée comme un indicateur de la compréhension.

1.1. Compréhension de texte

La compréhension d'un texte requiert, de la part de l'apprenant, la construction d'un modèle de situation, c'est-à-dire d'une représentation mentale, intégrant l'ensemble des propositions du texte aux connaissances antérieures (Kintsch, 1988). Ainsi, pour parvenir à l'élaboration de ce modèle de situation, le lecteur doit, au préalable, élaborer une représentation du sens du texte, nommée la *base de texte*. Cette représentation intègre l'ensemble des propositions du texte (la *microstructure)*, à la structure globale de ce texte (la *macrostructure)* (Kintsch, 1988, 1998 ; Kintsch & Rawson, 2005 ; Kintsch & van Dijk, 1978 ; van Dijk & Kintsch, 1983).

1.1.1. La micro et macrostructure

La microstructure correspond à un réseau associatif comprenant l'ensemble des propositions abordées dans le texte et les liens entretenus entre elles (Kintsch & van Dijk, 1978). La formation des propositions se réalise par l'extraction d'unités sémantiques à partir des mots du texte. Chacune de ces propositions élaborées mentalement par le lecteur est composée d'un prédicat (e.g., verbe, adjectif), autour duquel les arguments aux différentes fonctions sémantiques (e.g., sujet ou objet) s'organisent. Pour former la microstructure du texte, le lecteur doit aussi identifier les liens entretenus entre les propositions. Cette opération de mise en lien s'effectue soit à partir d'indices sémantiques explicitement cités dans le texte (e.g., co-référenciation), soit à partir d'inférences, lorsque ces indices n'apparaissent pas explicitement dans le texte (McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996). Pour résumer, l'élaboration de la microstructure consiste donc à identifier et mettre en lien l'ensemble des propositions d'un texte (voir Fig. 2).

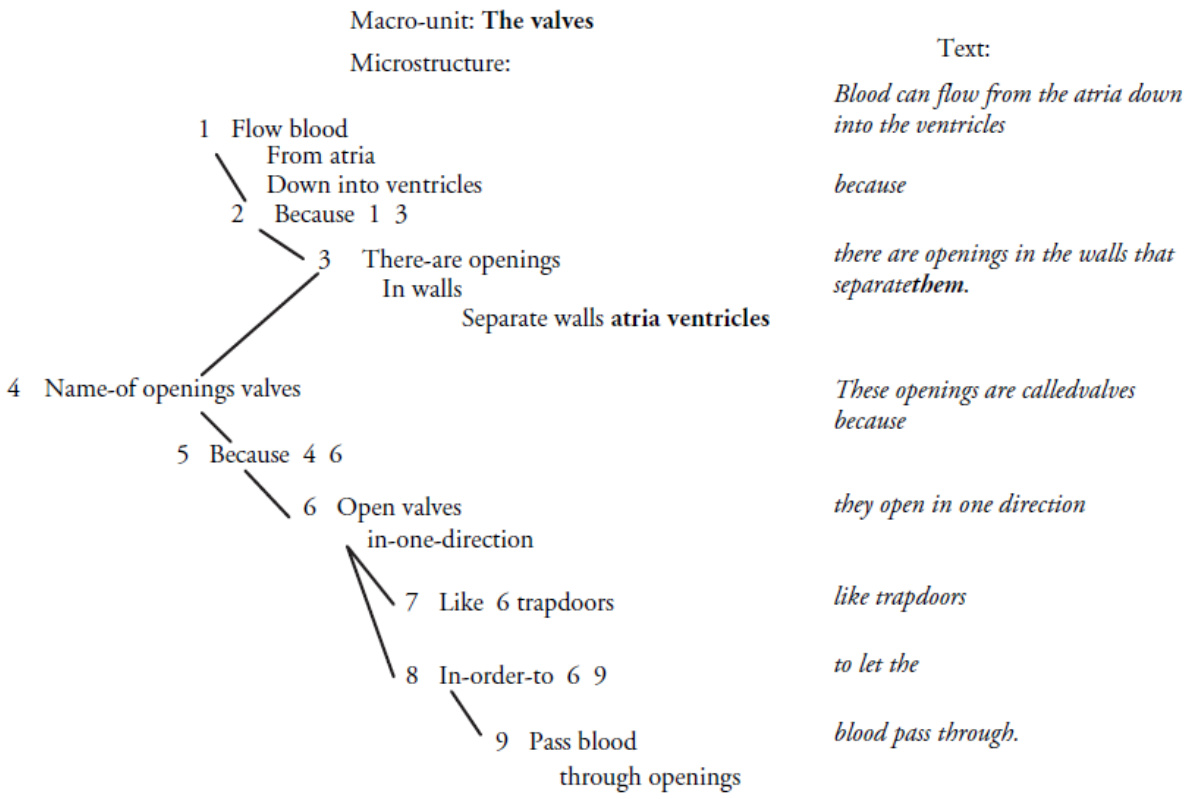


Fig. 2. Figure extraite de Kintsch et Rawson (2005) représentant un extrait de la microstructure d'un texte explicatif sur le fonctionnement du cœur.

Le second niveau de la structure sémantique est la macrostructure d'un texte. La macrostructure fait référence à l'organisation plus générale d'un texte, c'est-à-dire à l'identification des différents thèmes abordés ainsi que des relations entretenues entre ces thèmes. Souvent, mais pas systématiquement, la macrostructure est rendue saillante par des titres et sous-titres. Cette structuration par titres favorise la mémorisation d'un texte, notamment lorsque le lecteur est novice sur le sujet abordé (e.g., Lorch & Lorch, 1996 ; Potelle & Rouet, 2003). Pour élaborer cette macrostructure, le lecteur doit extraire l'essence commune des micropropositions pour déterminer les différents thèmes du texte. Ces dernières sont ensuite structurées et hiérarchisées afin d'obtenir une cartographie sémantique du texte (Kintsch & van Dijk, 1978). La macrostructure élaborée est définie comme cohérente, si chacune des micropropositions est connectée au thème général et aux sous-thèmes du texte (voir Fig. 3).

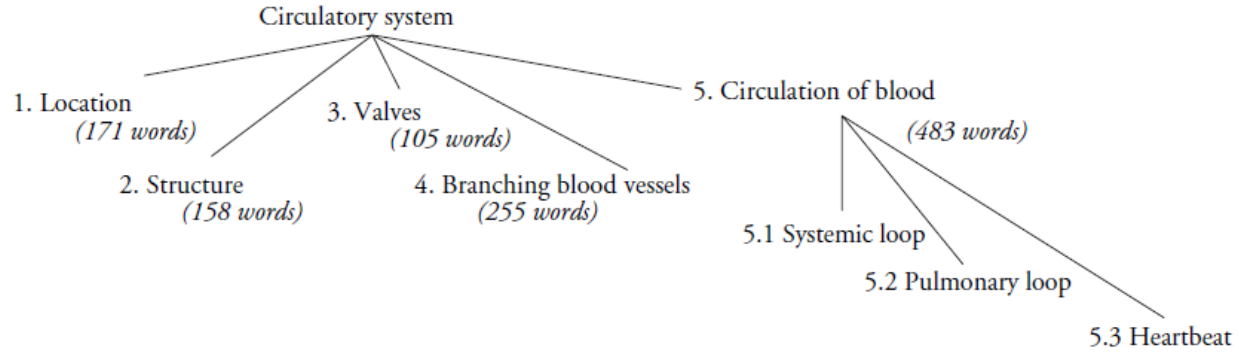


Fig. 3. Figure extraite de Kintsch & Rawson (2005) représentant une macrostructure d'un texte explicatif sur le fonctionnement du cœur humain.

1.1.2. La base de texte et le modèle de situation

La *base de texte* est composée de la microstructure et de la macrostructure (Kintsch, 1988, 1998 ; Kintsch & Rawson, 2005 ; Kintsch & van Dijk, 1978 ; van Dijk & Kintsch, 1983). Elle correspond à une représentation sémantique locale et globale du texte. Cette représentation prend la forme d'un réseau de propositions permettant au lecteur de raisonner et de répondre à des questions concernant le texte ainsi que de le résumer (McNamara *et al.*, 1996). Toutefois, selon van Dijk & Kintsch (1983), la compréhension d'un texte ne se limite pas à l'élaboration de la base de texte. En effet, le processus de compréhension se traduit aussi par la construction d'un

modèle de situation et par son actualisation régulière. Le modèle de situation est une représentation mentale intégrant les informations provenant de la base de texte aux connaissances antérieures en lien avec celle-ci. L'élaboration du modèle de situation est guidée par les objectifs de l'apprenant. Par conséquent, un même lecteur confronté à un même texte peut construire différents modèles de situation en fonction de l'objectif visé. L'élaboration de ce modèle de situation est considérée comme l'indicateur d'un traitement plus profond du texte. Ce dernier permet un maintien de l'information à plus long terme ainsi qu'un transfert des connaissances apportées par le texte à de nouvelles situations. Toutefois, selon McNamara *et al.* (1996), le lecteur élaborerait en réalité une seule représentation de texte. La distinction introduite par Kintsch entre base de texte et modèle de situation a pour objectif de différencier une représentation construite seulement sur la base des propositions du texte d'une représentation construite sur la base des propositions du texte mises en lien avec les connaissances antérieures (McNamara *et al.*, 1996).

1.2. Compréhension des textes illustrés

Pour faciliter la compréhension de phénomènes scientifiques complexes, les textes scientifiques sont souvent complétés d'illustrations explicatives (Mayer & Gallini, 1990 ; pour une revue sur les différents types d'illustrations voir Ainsworth, 1999 ; Carney & Levin, 2002). Selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2009), les textes illustrés seraient traités au travers de deux canaux interreliés : un canal visuel et un canal auditif (voir Fig. 4). Cette conception du traitement cognitif des multimédias est basée sur la théorie du double codage de Paivio (Clark & Paivio, 1991 ; Paivio, 1986). La théorie de Mayer postule que l'apprenant sélectionnerait et organiserait séparément en mémoire de travail l'information verbale et l'information visuelle. Chacune de ces informations peut toutefois être convertie dans l'une ou l'autre des modalités. Ce traitement aboutirait à l'élaboration d'un modèle verbal et d'un modèle visuel. Ces deux derniers seraient ensuite intégrés dans un modèle mental unique incluant les connaissances antérieures de l'apprenant. Ainsi, la présentation conjointe de textes et d'illustrations permettrait l'élaboration de modèles mentaux plus complets contribuant ainsi à renforcer la mémorisation et la compréhension des apprenants (pour une revue voir Butcher, 2014 ; Levie & Lentz, 1982 ; Mayer, 2009) notamment lorsque ces derniers sont novices sur le

sujet étudié (Mayer & Gallini, 1990 ; Schnotz & Bannert, 2003). Pour reprendre l'exemple de Mayer et Gallini (1990), comprendre le fonctionnement d'une pompe à vélo nécessite de pouvoir intégrer des informations de type propositionnel (e.g., lorsque je tire sur la poignée, l'air passe à travers une soupape) mais aussi de nature structurelle (e.g., localisation de la poignée et de la soupape). Contrairement aux illustrations, les textes sont adaptés pour transmettre des informations de nature propositionnelle. Il est néanmoins plus difficile pour un apprenant d'appréhender des informations de nature structurelle par l'intermédiaire d'un code verbal (Schnotz, 1993). Les illustrations, quant à elles, procurent une représentation analogique du système, détaillant l'architecture et la localisation de chacun des éléments qui le compose. Cette représentation analogique permet alors une explicitation des informations décrites implicitement par le texte (Larkin & Simon, 1987 ; Schnotz, 2002). Ainsi, l'effet bénéfique des multimédias sur la compréhension s'expliquerait, au moins en partie, par la complémentarité des informations transmises par chacun des modes de présentation de l'information.

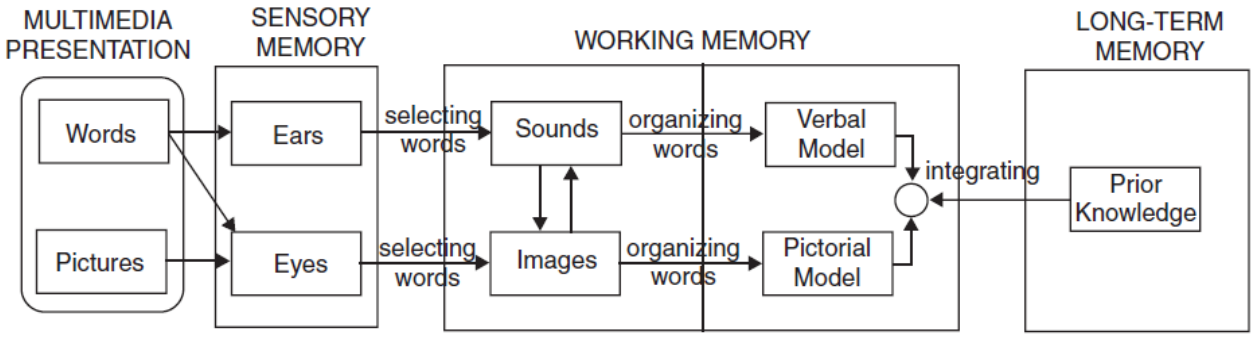


Fig. 4. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2009).

2. Activités cognitives lors d'un apprentissage multimédia

Lorsque l'apprenant est expert dans le domaine étudié, la compréhension d'un document peut se réaliser de manière relativement automatique (Kintsch & Rawson, 2005 ; Pressley & Afflebach, 1995). Toutefois, lorsque le lecteur est novice, cette activité de compréhension nécessite une activité cognitive élaborée et beaucoup plus contrôlée (Kintsch, 1988,1998 ; Kintsch & Rawson, 2005). Savoir construire du sens à partir d'un texte ou d'un document multimédia est une capacité importante qui prédit, entre autres, l'acquisition de notions scientifiques (Cromley, 2009) et plus généralement la réussite scolaire (Savolainen, Ahonen, Tolvanen, & Holopainen,

Jonathan Fernandez - Favoriser un apprentissage actif : effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017
Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

2008). Cette activité complexe requière la maitrise et l'orchestration d'un ensemble de processus cognitifs (Denton, Wolters *et al.*, 2015 ; Muijselaar *et al.*, 2017 ; Perfetti & Stafura, 2014 ; Verhoeven & Perfetti, 2008). Selon Denton, Wolters *et al.* (2015), pour comprendre un texte :

> Un lecteur doit simultanément décoder des mots, accéder au sens de ces mots, et construire du sens à partir de la phrase et plus largement du paragraphe lu. Cette construction de sens doit être intégrée avec les informations fournies précédemment dans le texte et avec les connaissances antérieures afin de créer un modèle mental qui s'actualisera au fil de la lecture. Parallèlement, le lecteur doit aussi vérifier régulièrement le sens du texte et repérer les incompréhensions (p. 81 notre traduction).

Il est aujourd'hui reconnu dans la littérature qu'un prérequis important à l'activité de compréhension est la capacité à déchiffrer ou reconnaitre efficacement le code écrit des mots d'un texte (e.g., Bigozzi, Tarchi, Vagnoli, Valente, & Pinto, 2017 ; Kleinsz, Potocki, Ecalle, & Magnan, 2017 ; Levy *et al.*, & 1997 ; Samuelstuen & Bråten, 2005) et d'extraire le sens de ces derniers (Cromley & Azevedo, 2007 ; Cromley, Snyder-Hogan, & Luciw-Dubas, 2010b ; Muijselaar *et al.,* 2017 ; Oakhill & Cain, 2012 ; Perfetti & Stafura, 2014). Bien que l'objet de cette thèse ne porte pas sur la question des processus de décodage de la lecture, il est important de souligner que l'automatisation de ces derniers est fondamentale pour la compréhension d'un texte. Effectivement, ces processus de décodage sont réalisés conjointement aux processus de compréhension en mémoire de travail. Automatiser le décodage permet ainsi de libérer les ressources attentionnelles nécessaires à l'activité de compréhension (Pressley, 2002). Au-delà de l'identification des mots, la compréhension d'un document multimédia requiert également un traitement actif de l'information. En effet, il ne suffit pas de s'exposer passivement aux informations proposées dans le document pour les stocker en mémoire à long terme. Autrement dit, le fonctionnement cognitif ne s'apparente pas à une simple caméra enregistreuse (Mayer, 1992). Au contraire, l'apprentissage est une activité complexe de construction de sens nécessitant le déploiement et la régulation de nombreuses activités cognitives (Mayer, 1984, 1989a, 1992, 1996, 2009 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013 ; Wittrock, 1974/2010, 1989).

2.1. L'apprentissage actif

Selon Bruner (1957), réaliser un apprentissage actif, c'est découvrir par soi-même les principes à apprendre. Selon lui, ce type d'apprentissage se réalise en allant au-delà des informations proposées par l'environnement, c'est-à-dire, en structurant mentalement les stimuli environnementaux pour en extraire le sens. Selon l'approche cognitiviste, l'apprentissage est, par définition, un processus de construction actif des connaissances, dont la qualité dépendrait, au moins en partie, de l'activité mentale de l'apprenant (Shuell, 1986). Autrement dit, un document multimédia, même bien conçu, ne conduit pas systématiquement à un apprentissage de bonne qualité, notamment si les apprenants échouent à en faire une bonne utilisation (Scheiter *et al.*, 2015). Cette approche contraste avec la conception béhavioriste selon laquelle le résultat de l'apprentissage est uniquement déterminé par l'environnement (voir Schunk, 2011 pour une discussion). Ainsi, contrairement à ce que supposaient les béhavioristes, les phénomènes mentaux, ou pour le dire autrement, la façon dont les stimuli sont traités par le système cognitif, ont une incidence importante sur la qualité de l'apprentissage.

2.1.1. Même stimulus, différents niveaux de traitement

Avec l'avènement de la psychologie cognitive, les chercheurs ont étudié plus précisément les processus de traitement de l'information conduisant à la compréhension des stimuli environnementaux et au maintien de ces dernières en mémoire à long terme (Wittrock, 1974/2010). Selon Wittrock, un facteur déterminant dans l'acquisition des connaissances, en plus des propriétés de l'enseignement et des savoirs détenus par l'individu, est la qualité du procédé de mise en relation entre les stimuli et les connaissances antérieures. Autrement dit, la compréhension résulte de la quantité et de la qualité des activités et stratégies cognitives mises en œuvre par les apprenants. Plus précisément, trois types de processus cognitifs sont à distinguer dans cette activité de contrôle de l'information et d'élaboration de sens : les processus de sélection, d'organisation et d'intégration (Fiorella & Mayer, 2016 ; Mayer, 1984, 1989a, 1992, 1996, 2009) (voir Fig. 5).

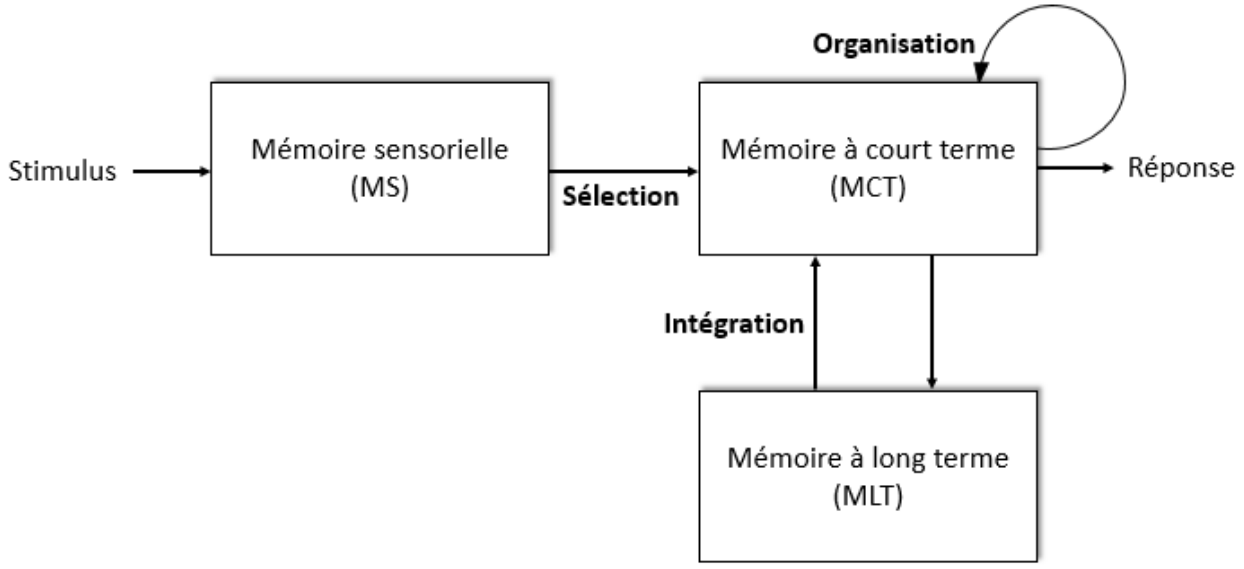


Fig. 5. Modèle cognitif de la construction de connaissances de Mayer (1992).

La première phase d'un apprentissage actif s'opère par une sélection de l'information. Moely, Olson, Halwes et Flavell (1969) indiquent qu'un apprenant actif « […] contrôle et modifie délibérément les inputs qu'il reçoit plutôt que de simplement traiter les stimuli environnementaux tels qu'ils sont proposés par l'environnement » (p. 33, notre traduction). Selon Pressley et Afflebach (1995), un bon apprenant, en plus d'organiser les informations qui lui parviennent, arrête sa lecture lorsqu'il ne comprend pas et peut décider de relire les passages qu'il estime importants ou non compris. Inversement, il peut aussi passer rapidement sur des passages qui lui semblent non pertinents au regard de son objectif. En d'autres termes, le premier processus déterminant d'un apprentissage actif consiste en une sélection des stimuli à traiter ou à retraiter en mémoire de travail en fonction des objectifs préalablement établis.

Une fois l'information sélectionnée, elle peut être organisée avec le reste des informations disponibles en mémoire de travail et intégrée aux connaissances antérieures. La mise en œuvre de ces processus permet un traitement plus profond de l'information (pour une revue sur les modèles de profondeur de traitement, voir Dinsmore & Alexander, 2012). La profondeur de traitement est définie par le degré de traitement sémantique réalisé par le système cognitif sur l'information. Elle conditionne le maintien de l'information en mémoire à long terme (Craik & Lockhart, 1972). Par exemple, deux participants qui tentent de mémoriser le mot « table »

pourraient déployer des activités cognitives dissemblables. Le premier pourrait se contenter de simplement lire le mot « table » tandis que le second pourrait, quant à lui, produire une image mentale de sa table de salle à manger. Dans cette situation, les deux lecteurs ont en commun d'avoir opéré un décodage du langage écrit. Toutefois, alors que le premier lecteur a traité passivement le mot écrit, le second lecteur est allé au-delà de ce stimulus en générant une représentation imagée d'une table qui lui était familière. Suivant la théorie de profondeur de traitement (Craik & Lockhart, 1972 ; Craik & Tulving, 1975), l'encodage serait de meilleure qualité chez le second participant qui générerait activement du sens à partir de l'information présentée, ce qui augmenterait, en conséquence, sa probabilité à maintenir en mémoire cette information. De manière similaire, Bower (1970) a proposé à trois groupes de participants une liste de paires de mots à mémoriser (e.g., BOUTEILLE – ROCHER). Une consigne d'encodage différente a été donnée à chaque groupe avant le début de la passation. Le premier groupe devait répéter à voix haute plusieurs fois les mots présentés. Le second groupe avait pour tâche de former une représentation imagée distincte de chacun des deux mots. Enfin, le troisième groupe devait construire une représentation imagée unique intégrant les deux mots (e.g., ROCHER brise la BOUTEILLE). Pour chacun des 3 groupes, chaque paire de mots était présentée individuellement durant 10 secondes. Lors de la session de rappel, l'un des deux mots de chaque paire était présenté aux participants. Les participants avaient alors pour consigne de rappeler le second mot associé au premier durant la phase d'encodage. Les résultats de cette étude montrent un effet important de la consigne d'imagerie intégrative sur les deux autres conditions. En effet, les participants de cette condition étaient capables de rappeler en moyenne 53% de l'information contre 27% pour le groupe imagerie séparée et 30 % pour la condition répétition. Ainsi, une même information présentée sur une durée identique, peut conduire à des performances de rappel sensiblement différentes en fonction de la qualité du traitement cognitif opéré sur cette information. Cette expérience montre qu'une organisation et une intégration de l'information dans une représentation unique et structurée améliorent les performances de rappel.

2.1.2. Favoriser l'apprentissage actif

Le constructivisme a donné lieu à la conception de différentes méthodes d'enseignement destinées à favoriser l'apprentissage actif (Mayer, 2004). Ces méthodes incluent l'apprentissage

Jonathan Fernandez - Favoriser un apprentissage actif : effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017
Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

par découverte, l'apprentissage par résolution de problèmes ou encore l'apprentissage constructiviste (pour une revue voir Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Selon Bruner (1961), les apprenants retiendraient mieux une information s'ils la découvrent par eux-mêmes plutôt que si on la leur enseigne (voir aussi Ausubel, 1961, 1964). Dans cette perspective, amener les apprenants à découvrir des notions en autonomie les rendrait acteurs de leur apprentissage, ce qui favoriserait en retour un traitement plus profond de l'information (pour une discussion et une critique de cette approche voir Alfieri, Brooks, Aldrich, & Tenenbaum, 2011 ; Hattie & Yates, 2013 ; Khlar & Nigam, 2004 ; Kirschner *et al.*, 2006 ; Mayer, 2004). Ainsi, un savoir transmis par l'intermédiaire de textes ou de cours magistraux favoriserait la passivité des apprenants, tandis que des travaux en groupe, un apprentissage par manipulation ou encore par exploration favoriseraient plutôt un apprentissage actif. Toutefois, de nombreux travaux ont révélé que les enseignements par découverte ou constructivistes présentent peu voire pas d'effets bénéfiques sur l'apprentissage (pour une méta-analyse voir Alfieri *et al.*, 2011). Bien que la conception de l'apprentissage constructiviste ne soit pas remise en question, les pratiques pédagogiques déduites du constructivisme ne semblent pas favoriser systématiquement un apprentissage de qualité (Kirschner *et al.*, 2006 ; Mayer, 2004). Les raisons évoquées sont multiples. Pour Kirschner *et al.* (2006), l'apprentissage par découverte, notamment pour des novices qui, par définition, ne peuvent recourir à leurs connaissances antérieures, impose une charge de travail importante aux apprenants (Kirschner *et al.*, 2006). Selon ces auteurs « cette charge en mémoire de travail ne contribue pas à l'accumulation de connaissances en mémoire à long terme car pendant que la mémoire de travail est utilisée à chercher la solution d'un problème, elle n'est pas disponible pour des activités d'apprentissage » (p. 77, notre traduction). Une seconde raison tient à une confusion régulièrement faite concernant la définition même de l'apprentissage actif. Un apprentissage dit actif ne se définit pas par les comportements observables de l'apprenant mais plutôt par son activité cognitive qui est, la plupart du temps, inobservable (Mayer, 2004, 2009). Or, les apprentissages dit constructivistes peuvent parfois favoriser une activité comportementale importante sans pour autant garantir un traitement actif de l'information. Inversement, durant un enseignement transmissif, un apprenant peut être inactif d'un point de vue comportemental tout en traitant activement l'information transmise (Mayer, 2004, 2009). Autrement dit, la qualité

des enseignements ou des supports pédagogiques ne devrait pas être estimée au regard des activités comportementales qu'ils produisent, mais plutôt, par la qualité des processus cognitifs et métacognitifs qu'ils engendrent (Wittrock, 1978). Par conséquent, la conception de solutions pédagogiques visant à soutenir un apprentissage actif devrait nécessairement reposer sur une identification précise des activités cognitives et métacognitives mises en jeu dans l'élaboration de modèles mentaux cohérents.

2.1.3. Des processus cognitifs aux stratégies cognitives

Deux apprenants étudiant un même document multimédia, dans des conditions strictement identiques, peuvent construire une représentation très différente de ce document (Pressley & Gaskin, 2006). En effet, bien que cela ne soit pas toujours visible pour l'observateur extérieur (Duffy, Roehler, & Herrmann, 1988 ; Kardash & Amlund, 1991), les apprenants peuvent interagir différemment avec un même texte et, en conséquence, construire des représentations mentales plus ou moins complètes et correctes (Fox, 2009 ; Pressley & Gaskin, 2006). Lorsque l'un peut s'engager dans une simple lecture du texte sans aucune autre forme de traitement cognitif qu'un déchiffrage du code écrit, le second apprenant peut, quant à lui, s'engager dans un traitement actif du multimédia en sélectionnant l'information qui lui parait pertinente en l'organisant et en l'intégrant avec ses connaissances antérieures (Mayer, 2009). Ces processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration sont mis en œuvre à partir de stratégies d'apprentissage. Ces dernières peuvent, par exemple, prendre la forme, de relecture, de réalisation de fiches de révision, de consultations d'illustrations ou encore d'inférences. Elles ont fait l'objet de nombreuses études, revues de littérature et méta-analyses qui ont souvent montré leur influence sur la mémorisation, la compréhension ou encore la réussite scolaire (e.g., Donker, De Boer, Kostons, van Ewijk, & van der Werf, 2014 ; Dunlosky *et al.*, 2013 ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Hattie, Biggs, & Purdie, 1996 ; Hattie & Donoghue, 2016 ; Muijselaar *et al.*, 2017 ; National Reading Panel, 2000).

2.2. Les stratégies d'apprentissage

Les stratégies d'apprentissage correspondent à toute activité cognitive ou comportementale visant à intentionnellement déployer, contrôler ou modifier un processus

Jonathan Fernandez - Favoriser un apprentissage actif : effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017
Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

d'encodage afin d'atteindre un objectif identifié comme inatteignable par un processus de traitement automatique (Afflebach, Pearson & Paris, 2006 ; Alexander & Judy, 1988 ; Harris, Alexander & Graham, 2008 ; Veenman, 2011a ; Weinstein & Mayer, 1986). Cette définition souligne deux points fondamentaux. Le premier point fait consensus dans la littérature. Il concerne le déploiement d'une activité cognitive ou comportementale pilotée par un objectif. Le second point, plus discuté, concerne l'aspect conscient et délibéré du déploiement de la stratégie (Afflebach *et al.*, 2006 ; Harris *et al.*, 2008 ; Pressley & Hilden, 2007). En effet, les premières utilisations de stratégie d'apprentissage seraient intentionnelles et conscientes. Toutefois, avec l'expérience, le déploiement de certaines stratégies pourrait devenir automatique et solliciterait, en conséquence, peu de ressources cognitives. Ainsi, une même activité mentale destinée à atteindre un objectif, pourrait être menée aussi bien consciemment qu'inconsciemment selon son degré d'automatisation. Dès lors, la question se pose de savoir si le déploiement d'une même activité cognitive peut être considéré comme identique sur le plan psychologique (Afflebach *et al.*, 2006 ; Harris *et al.*, 2008 ; Pressley & Hilden, 2007 ; Veenman, 2011a). Pressley et ses collaborateurs relativisent la place accordée à la conscience dans leur définition des stratégies (Pressley, 1986 ; Pressley, Forrest-Pressley, Elliot-Faust, & Miller, 1985 ; Pressley & Hilden, 2007). Pour ces auteurs, le processus stratégique ne serait pas nécessairement conscient et intentionnel. Toutefois, il devrait être *conscientisable* et contrôlable pour être considéré comme tel (Pressley, 1986). Pour Afflebach et ses collaborateurs (2006), le caractère intentionnel et conscient d'une activité cognitive représente ce qui distingue les stratégies des compétences d'apprentissage. Selon ces auteurs, une activité cognitive déployée automatiquement ne pourrait donc plus être considérée comme une stratégie d'apprentissage mais plutôt comme une compétence d'apprentissage. Toutefois, introduire cette dimension consciente et intentionnelle dans la définition de la stratégie revient à non dissocier les activités cognitives d'apprentissage des processus qui les pilotent. Or, pour comprendre ce qui est à l'origine d'un apprentissage de bonne qualité, il est important de distinguer ces deux aspects, fussent-ils intimement liés. Par exemple, lorsqu'un apprenant décide de relire une phrase après l'avoir lue une première fois, plusieurs processus cognitifs peuvent entrer en jeu. À la suite de sa lecture, cet apprenant a pu : 1) vérifier la qualité de sa compréhension de la phrase, 2) se remémorer ses exigences d'apprentissage, 3)

estimer l'écart entre son niveau de compréhension et ses exigences d'apprentissage, 4) activer ses connaissances sur les stratégies disponibles pour remédier à ses difficultés de compréhension, 5) prendre la décision d'utiliser une stratégie de relecture parmi toutes les stratégies disponibles et 6) appliquer finalement l'activité de relecture. Dans cette situation, la seule étape qui contribue directement à une meilleure compréhension de la phrase est l'étape 6. Les étapes 1 à 5, préalablement réalisées, mettent en jeu des processus métacognitifs impliqués dans la régulation de l'activité stratégique des étudiants (ces processus métacognitifs seront plus spécifiquement décrits dans le chapitre 2). Dans ce cas, ces activités métacognitives sont à l'origine du déclanchement de la relecture. Par conséquent, elles contribuent indirectement à la compréhension de la phrase. Le caractère conscient et intentionnel de l'activité de relecture est ainsi déterminé par ces activités métacognitives (Veenman, 2011a, 2011b). En d'autres termes, ce qui différencie la stratégie de la compétence est le recours conscient ou non aux étapes 1 à 5. Il est intéressant de noter que si, dans cette situation, un enseignant ou un programme informatique avait incité ce même apprenant à relire cette même phrase, ce dernier aurait alors pu réaliser la même activité de relecture sans avoir pour autant déployé l'ensemble des activités métacognitives décrites ci-dessus. Dans ce cas, le programme informatique ou l'enseignant réalise pour l'apprenant l'économie de l'activité métacognitive. Ceci aurait probablement conduit à l'élaboration d'une représentation mentale similaire à celle élaborée par l'apprenant dans la première situation, bien que celui-ci n'ait pas déployé intentionnellement l'activité cognitive. Ainsi, avant d'étudier les processus métacognitifs sous-tendant la régulation de l'apprentissage (voir chapitre 2), il est important d'identifier, dans un premier temps, les activités d'apprentissage qui prédisent la mémorisation et la compréhension et ce, indépendamment du caractère intentionnel et conscient de leur déploiement.

2.2.1. Stratégies d'apprentissage de haut et bas niveau

La littérature en psychologie de l'éducation distingue classiquement deux types de stratégies cognitives : les stratégies dites de haut niveau et celles dites de bas niveau (e.g., Alexander, Murphy, Wood, Duhon, & Parker, 1997 ; Cromley, Snyder-Hogan & Lucis-Dubas, 2010a ; Dinsmore & Alexander, 2012, 2016 ; Fox, 2009 ; Vrugt & Oort, 2008). Les stratégies de haut niveau, aussi appelées stratégies de traitement profond de l'information, peuvent prendre la

Jonathan Fernandez - Favoriser un apprentissage actif : effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017
Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

forme de résumés, d'élaboration de cartes mentales, de mises en lien de l'information avec des connaissances préalables ou encore d'élaboration d'inférences. Ces stratégies ont toutes en commun de mettre en lien, de transformer ou de générer de l'information dans une perspective de construction de sens (Cromley *et al.*, 2010a ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Strømsø, Bråten, & Samuelstuen, 2003). L'élaboration d'inférence, par exemple, est un processus de génération de liens entre les propositions explicites du texte et les informations non présentes dans ces propositions mais nécessaires à la construction d'une représentation cohérente du texte (McNamara & Magliano, 2009b). Par exemple, les textes contiennent souvent des pronoms personnels, des synonymes ou encore des ellipses. Le lecteur doit alors établir mentalement le lien entretenu entre le sujet et le pronom personnel, entre les différents synonymes, ou encore déduire les évènements non spécifiés explicitement dans le document. Par conséquent, l'élaboration des liens implicites est un processus fondamental pour la compréhension de texte (e.g., Cromley & Azevedo, 2011 ; Magliano, Trabasso, & Grasser, 1999 ; Oakhill, Cain, & McCarthy, 2015). Toutefois, cette activité d'élaboration d'inférences peut s'avérer difficile, notamment pour les jeunes lecteurs. Elle nécessite parfois un enseignement explicite pour remédier aux difficultés de compréhension de texte (voir Elleman, 2017 pour une récente méta-analyse sur les effets positifs de l'enseignement à la production d'inférence). La littérature distingue communément deux types d'inférences : les inférences de liaison (en anglais *bridging inferences*) et les inférences d'élaboration *(*en anglais *elaborative inferences*)*.* Les premières renvoient à la mise en lien entre une proposition lue dans le texte et le reste du document alors que les secondes correspondent à la mise en lien entre les informations du texte et les connaissances antérieures (Cromley & Azevedo, 2011 ; McNamara & Magliano, 2009b). Ces deux types d'inférences jouent un rôle central dans l'élaboration de la base de texte et du modèle de situation.

De manière générale, plusieurs types de stratégies favorisent un traitement profond de l'information et, par conséquent, un apprentissage de meilleure qualité. Par exemple, les apprenants obtiennent de meilleurs scores à des tests de mémorisation et de compréhension lorsqu'ils parviennent à extraire la structure du texte (Armbruster, Anderson, & Ostertag, 1987 ; Sanchez, Lorch, & Lorch, 2001), résument le document (e.g., King, Biggs, & Lipsky, 1984 ; Pressley, Johnson, Symons, McGoldrick, & Kurita, 1989 ; Ross & Vesta, 1976), utilisent des organisateurs

graphiques pour structurer les idées du document (e.g., Blunt & Karpicke, 2014 ; Merchie & Van Keer, 2016 ; Shroeder, Nesbit, Anguiano, & Adesope, 2017), intègrent les différentes propositions d'un texte entre elles (e.g., McNamara, Levinstein, & Boonthum, 2004), intègrent les informations des illustrations aux informations du texte (e.g., Mason, Tornatora, Pluchino, 2012 ; O'Keefe, Letourneau, Homer, Schwartz, & Plass, 2014 ; Ögren, Nyström, & Jarodzka, 2016), intègrent leurs nouvelles connaissances aux connaissances stockées en mémoire à long terme (e.g., Cromley *et al.*, 2010a) et testent régulièrement leur mémorisation de l'information présente dans le document (e.g., Agarwal, Bain, & Cahmberlain, 2012 ; Wissman, Rawson, & Pyc, 2011). Par ailleurs, des études ont montré que l'utilisation de certaines de ces stratégies peut être facilitée par la consultation d'illustrations (Ainsworth & Loizou, 2003 ; Cromley *et al.*, 2010a ; Kühl, Scheiter, Gerjets, & Gemballa, 2011). L'emploi de ces stratégies de haut niveau témoigne de la capacité des apprenants à activement sélectionner, organiser et intégrer l'information aux connaissances préexistantes (Fiorella & Mayer, 2016 ; Merchi & Van Kerr, 2016 ; Ponce & Mayer, 2014). Par conséquent, l'utilisation de ces stratégies par l'apprenant constitue une activité mesurable du traitement actif de l'information, condition nécessaire à l'élaboration d'un modèle mental cohérent (Mayer, 2009, 2014).

Les stratégies de haut niveau sont classiquement opposées aux stratégies dites de bas niveau. Les stratégies de bas niveau, aussi appelées stratégies de surface, correspondent aux processus de traitement de l'information qui n'opèrent aucune transformation ou de mise en lien de l'information (Cromley *et al.*, 2010a). Les stratégies de lecture ou de relecture, de surlignage, de recopiage ou encore de répétition de l'information en mémoire sont communément incluses dans cette catégorie. Ces différentes stratégies se caractérisent essentiellement par une exposition ou une réexposition passive à l'information. L'utilisation de ces stratégies est souvent un prédicteur de performances d'apprentissage faibles à nulles (Dunlosky *et al.*, 2013) notamment lorsqu'un délai est introduit entre la phase d'étude et la phase de test (Rawson & Kintsch, 2005). Toutefois, comme le soulignent Hattie et Donogue (2016), ces stratégies conviendraient pour un apprentissage de surface visant simplement à identifier et mémoriser de nouvelles idées. Selon ces auteurs, bien que cette première phase ne permette pas à elle seule un apprentissage de qualité, elle serait toutefois un préalable nécessaire avant un traitement plus

profond de l'information. De même, l'utilisation de stratégies de bas niveau lors de révisions pourrait suffire pour réussir des examens n'exigeant pas une compréhension mais une mémorisation des éléments d'un cours, comme cela est souvent le cas pour des examens proposant des questions à choix multiples (Vrugt & Oort, 2008).

2.2.2. Stratégies métacognitives

Les stratégies métacognitives comprennent toutes les activités cognitives déployées par un apprenant destinées à améliorer la régulation de son apprentissage (Donker *et al.*, 2014 ; Eme & Rouet, 2002 ; Veenman, 2011a, 2011b). Par exemple, plusieurs auteurs ont indiqué que certaines stratégies comme les organisateurs graphiques, les résumés ou les tests peuvent non seulement améliorer la mémorisation et la compréhension mais également la métacompréhension des apprenants (Anderson & Thiede, 2008 ; Baker & Brown, 1984 ; Redford, Thiede, Wiley, & Griffin, 2012 ; Thiede & Anderson, 2003). En d'autres termes, ces stratégies faciliteraient l'introspection de notre propre cognition et par conséquent la régulation de nos activités cognitives (Flavell, 1979 ; Grasser, D'Mello, & Cade, 2011 ; McNamara & Magliano, 2008a ; Veenman, 2011a, 2011b ; Williams & Atkins, 2009). Par exemple, lors de leurs révisions, certains étudiants se testent régulièrement pour évaluer la qualité de leur apprentissage (Karpicke, 2009). Le résultat de cette activité peut alors guider la mise en œuvre des stratégies cognitives à venir. L'efficacité de cette stratégie métacognitive pour l'apprentissage dépendra de sa capacité à fournir aux étudiants des indices fiables sur l'état cognitif au regard des objectifs d'apprentissage. Pour résumer, une stratégie cognitive vise à améliorer la mémorisation et la compréhension alors qu'une stratégie métacognitive a pour objectif d'améliorer l'introspection de la cognition et la qualité de la régulation de la cognition.

2.2.3. Les difficultés d'apprentissage en autonomie : le déficit de production de stratégies

Il est actuellement reconnu que la réussite académique des étudiants repose, au moins en partie, sur leurs capacités à prendre des décisions adaptées quant au type et à l'intensité des stratégies d'apprentissage à appliquer (Donker *et al.*, 2014 ; Dunlosky *et al.*, 2013 ; Hattie & Donoghue, 2016 ; Muijselaar *et al.*, 2017 ; National Reading Panel, 2000). Selon Pressley et collaborateurs, les bons lecteurs ont une activité stratégique importante avant, pendant et après

la lecture (Pressley, 2002 ; Pressley & Afflebach, 1995 ; Pressley & Gaskins, 2006). En effet, avant de débuter leur apprentissage, ils planifient leur activité. Pendant l'apprentissage, ils ralentissent leur lecture si nécessaire, relisent, et résument les informations. Ils élaborent aussi de nombreuses inférences et interprétations du texte et évaluent régulièrement leur compréhension. Après la lecture, les bons lecteurs reviennent généralement sur les passages les plus importants et relisent parfois l'ensemble du texte pour prendre des notes et organiser les informations du document. Inversement, les mauvais lecteurs tendent, quant à eux, à utiliser très peu de stratégies d'apprentissage (e.g., Pressley & Afflebach, 1995 ; Schellings *et al.*, 2006) et préfèrent employer des stratégies de bas niveau comme des relectures ou du surlignage plutôt que des stratégies de haut niveau (Denton, Enos *et al.*, 2015 ; Denton, Wolters *et al.*, 2015 ; Merchie & Van Keer, 2014). De manière générale, plusieurs études ont mis en évidence, qu'en situation d'apprentissage autonome, certains étudiants ont tendance à ne pas déployer des stratégies d'apprentissage efficaces (e.g., Bjork *et al.*, 2013 ; DiFrancesca, Nietfeld, & Cao, 2016 ; Karpicke *et al.*, 2009 ; Mayer, 1996 ; Pressley & Afflebach, 1995 ; Schellings *et al.*, 2006). Cette régulation inadaptée de l'apprentissage a parfois été décrite dans la littérature sous le terme de déficit de production (Flavell, 1970 ; Flavell, Beach, & Chinsky, 1966 ; Keeney, Cannizzo, & Flavell, 1967 ; Pressley & Hilden, 2007). Ce terme est classiquement utilisé pour décrire les apprenants qui sont capables de déployer des stratégies efficaces pour atteindre l'objectif d'apprentissage visé mais qui pourtant ne les emploient pas spontanément (Gersten, Fuchs, William, & Baker, 2001 ; Pressley & Hilden, 2007). Selon les modèles de l'apprentissage autorégulé, la quantité et la nature des stratégies d'apprentissage déployées sont déterminées par la qualité de l'activité métacognitive d'un apprenant (Baker & Brown, 1984 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013). La question est maintenant de déterminer les mécanismes psychologiques qui sous-tendent les prises de décision lors d'un apprentissage autorégulé, et plus particulièrement l'origine des dysfonctionnements métacognitifs responsables de ce déficit de production.

CHAPITRE 2 : La régulation de l'activité d'apprentissage

La part importante du travail en autonomie requise à l'université exige, de la part des étudiants, une autorégulation efficace de leurs activités d'apprentissage. Autrement dit, ils doivent être en mesure d'identifier explicitement les objectifs et sous-objectifs de la tâche et d'appliquer, en conséquence, les stratégies adaptées à celle-ci (Hattie & Donogue, 2016). De plus, cela nécessite qu'ils évaluent régulièrement et précisément si les stratégies utilisées leur permettent d'atteindre ces objectifs et si ces derniers ont été atteints. S'ils estiment que ce n'est pas le cas, ils devront alors être capables de prendre des décisions adaptées pour modifier leurs activités d'apprentissage. La mise en œuvre de ces différents processus cognitifs et métacognitifs constitue un indicateur mesurable de la dimension active de leur apprentissage. En outre, de nombreuses recherches ont montré que les étudiants qui emploient ces processus d'autorégulation obtiennent de meilleures performances de mémorisation et de compréhension de documents scientifiques (e.g., Azevedo & Cromley, 2004 ; Bannert, Reinman, & Sonnenberg, 2014 ; Greene & Azevedo, 2007a ; Schraw & Gutierrez, 2015) et réussissent mieux leurs examens universitaires (Vrugt & Oort, 2008). Cependant, certains étudiants ne disposeraient pas des aptitudes métacognitives requises pour autoréguler efficacement leur apprentissage (e.g., Azevedo & Cromley, 2004 ; Azevedo, Cromley & Seibert, 2004 ; Azevedo, Guthrie, & Seibert, 2004; DiFrancesca *et al*., 2016). Après avoir décrit le modèle de l'apprentissage autorégulé de Winne & Hadwin (1998, 2008, 2013), nous présenterons plus en détails le rôle central des processus métacognitifs dans l'apprentissage autorégulé. L'objectif sera d'une part, de mieux comprendre l'activité métacognitive sous-tendant la prise de décision lors de ce type d'apprentissage afin, d'autre part, d'identifier les dysfonctionnements métacognitifs responsables du déficit de production.

1. Le modèle de l'apprentissage auto-régulé de Winne et Hadwin

L'apprentissage autorégulé (AAR) peut être défini comme un processus d'apprentissage actif selon lequel les étudiants sélectionnent, organisent et intègrent de nouvelles informations tout en surveillant (*monitor*) et contrôlant (*control*) intentionnellement leur cognition, leur

motivation, leur comportement et leur environnement afin d'atteindre les objectifs qu'ils se sont préalablement fixés (Muis, 2007 ; Pintrich, 2000 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013 ; Zimmerman, 2000). Le terme d'AAR est apparu dans les années 80 suite à l'introduction du concept d'autorégulation de Bandura (1986) dans le champ de l'éducation (voir Dinsmore, Alexander, & Loughli*,* 2008). Depuis, de nombreux modèles de l'AAR ont émergé (pour une revue récente sur les modèles de l'AAR et leurs spécificités, voir Panadero, 2017). Influencé par les théories du traitement de l'information, le modèle de Winne & Hadwin (1998, 2008, 2013) décrit précisément l'architecture cognitive qui sous-tend l'AAR (Greene & Azevedo, 2007b). De plus, en plaçant l'activité métacognitive de *monitoring* et de *control* au cœur de l'AAR, leur modèle permet une meilleure compréhension des changements et interactions entre chacune des étapes d'apprentissage (Greene & Azevedo, 2007b).

Le modèle de Winne et Hadwin (1998, 2008, 2013) distingue quatre étapes récursives lors d'un AAR : 1) la définition de la tâche, 2) la fixation des buts et des plans d'action, 3) le déploiement des stratégies et 4) l'adaptation à la tâche d'apprentissage. Cette dernière étape consiste à réaliser une introspection sur la qualité de l'apprentissage à la fin de la session d'étude et à stocker les conclusions de cette introspection en mémoire à long terme. Celles-ci deviennent alors des connaissances sur le fonctionnement de la cognition et pourront être recrutées lors d'une session d'étude ultérieure pour guider la régulation de cette nouvelle activité d'apprentissage. Selon les auteurs, les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* interviendraient à chacune de ces 4 étapes. L'idée de récursivité renvoie au fait que le résultat du traitement intervenant lors d'une étape peut servir d'input pour guider les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* d'une autre étape (Winne & Nesbit, 2009) (voir Fig. 6).

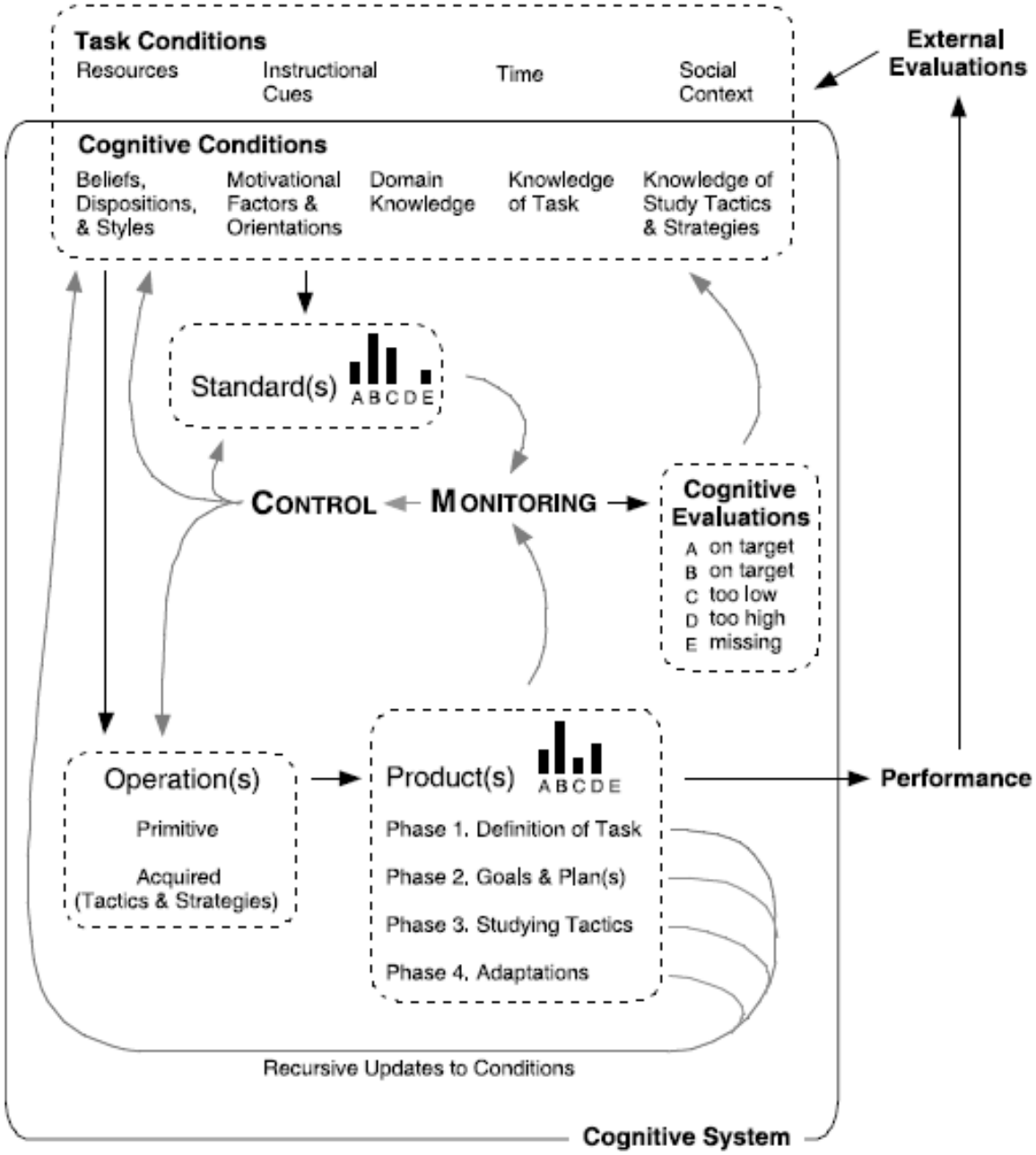


Fig. 6. Modèle de l'apprentissage auto-régulé de Winne & Hadwin (1998).

Par ailleurs, chacune de ces étapes présenterait la même architecture cognitive formée de cinq composantes : *Conditions, Opérations, Produits, Evaluation et Standards,* souvent référencées sous l'acronyme COPES. La composante *Condition* renvoie aux caractéristiques de la tâche d'apprentissage (e.g., consigne, temps d'exécution) et aux dispositions cognitives de l'apprenant (e.g., motivation, connaissances antérieures). Les *Standards* correspondent aux

normes d'apprentissage fixées par l'apprenant pour les 4 étapes de l'AAR (e.g., niveau de compréhension visé, effort que l'apprenant est prêt à accorder pour réaliser la tâche). Ces normes sont élaborées par l'apprenant à partir de ses expériences d'apprentissage passées ainsi que par sa perception des conditions de la tâche d'apprentissage et peuvent être actualisées à partir des inputs reçus au cours de l'apprentissage (Rouet & Britt, 2011 ; Rouet, Britt, & Durik, 2017). La composante O*pérations* représente l'activité cognitive impliquée dans l'élaboration des *Produits*. Ces derniers peuvent être soit externes et observables (e.g., prise de notes) ou soit internes et plus difficilement visibles (e.g., jugement d'apprentissage). Les *Produits* observables peuvent être *évalués* par une source externe (e.g., enseignant ou un logiciel informatique). Ces évaluations externes permettent la mise à jour de la composante *Conditions*. Par exemple, lors d'un examen, indiquer aux étudiants le temps restant avant la fin de l'épreuve, peut leur permettre d'actualiser la composante « condition de l'examen » et de réguler en conséquence leur activité de composition. De même, renseigner un apprenant sur l'inefficacité d'une stratégie pour mémoriser et comprendre un document (e.g., recopier passivement un cours) peut leur permettre d'actualiser leurs connaissances et croyances sur les stratégies d'apprentissage à appliquer. Aussi, ces mises à jour sont destinées à favoriser un apprentissage adapté à la tâche. Toutefois, dans le milieu universitaire, les évaluations externes sont généralement assez rares et les étudiants doivent, dès lors, réaliser par eux-mêmes ces actualisations et réguler en conséquence leur activité d'apprentissage. Selon Winne et Hadwin, ces régulations réalisées en autonomie sont pilotées par deux processus centraux du modèle de l'AAR : le *monitoring* et le *control* métacognitif. De nombreux autres chercheurs ont par ailleurs contribué à montrer le rôle central de l'activité métacognitive dans le déclenchement des processus d'AAR (e.g., Butler & Winne 1995 ; Dunlosky & Thiede 2013 ; Griffin, Wiley, & Salas, 2013 ; Pressley & Ghatala, 1990 ; Winne, 2011).

2. Métacognition

La métacognition est souvent définie comme étant une cognition sur la cognition (Flavell, 1979). Plus précisément, ce terme renvoie à l'ensemble des connaissances détenues par un individu concernant l'état ou le fonctionnement de sa propre cognition ainsi qu'aux différentes activités cognitives mises en œuvre au cours d'une tâche visant à évaluer, modifier ou

maintenir un processus cognitif (Brown, 1978 ; Flavell, 1979, 2004). L'intérêt pour ce sujet d'étude est relativement ancien. En effet, les premiers travaux expérimentaux ont été réalisés dans les années 60 et visaient à étudier la qualité de l'introspection des individus sur l'état et le fonctionnement de leur cognition (Freedman & Landauer, 1966 ; Hart, 1965, 1966, 1967). Toutefois, la métacognition a été plus formellement théorisée par le Piagétien John Hurley Flavell dans les années 70. Peu avant cette période, Flavell et ses collaborateurs travaillaient sur le développement des capacités de mémorisation chez les enfants. À la suite d'une série d'expériences, ils remarquent que le développement des capacités mnésiques pouvait s'expliquer par de meilleures connaissances des enfants sur leur processus de mémorisation ainsi que des stratégies d'encodage qui permettent de l'optimiser (Corsini, Pick, & Flavell, 1968 ; Flavell *et al.,* 1966 ; Keeney *et al.*, 1967 ; Moely *et al.*, 1969). Par exemple, dans une de leurs nombreuses expériences, Flavell *et al.* (1966) ont proposé une tâche de mémorisation d'items à trois groupes d'enfants respectivement âgés en moyenne de 69, 93 et 129 mois. Sept images représentant des objets familiers ont été présentées aux participants. L'expérimentateur pointait aux enfants un certain nombre d'images. La tâche des enfants consistait alors à pointer, dans le même ordre, les images présentées préalablement par l'expérimentateur. Les performances de mémorisation des enfants ainsi que le nombre de mouvements de lèvres qu'ils effectuaient pendant la tâche ont été mesurés. Cette dernière mesure visait à déterminer si les enfants recodaient verbalement les images présentées durant la phase d'encodage et si, le cas échant, ils répétaient en mémoire à court terme cette information verbale. Les résultats montrent que certains enfants ne se contentent pas de mémoriser passivement l'information présentées en modalité visuelle (i.e., les 7 images), mais recodent activement les stimuli visuels en stimuli verbaux. De plus, parmi ces enfants, certains répétaient à plusieurs reprises le code verbal généré ce qui révèle une capacité à déployer une stratégie de maintien de l'attention sur un stimulus absent de leur environnement sensoriel. Comme cela était attendu par les auteurs, les résultats ont montré que l'utilisation de ces stratégies d'encodage était corrélée aux performances de mémorisation des enfants et ce, quel que soit leur âge. De plus, les résultats ont indiqué que ces stratégies étaient majoritairement utilisées par les enfants les plus âgés mais lorsque les enfants les moins âgés les utilisaient, ils obtenaient des performances similaires aux performances des enfants les plus âgés. Autrement

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

dit, les résultats de cette étude suggèrent que l'effet de l'âge sur les performances de mémorisation serait médiatisé par l'acquisition et l'utilisation de stratégies d'encodage des enfants. Dans une autre recherche, Flavell, Friedrichs et Hoyt (1970) observent qu'avec l'âge, les enfants utilisent davantage de stratégies d'autoévaluation leur permettant d'affiner la précision de leur jugement de mémorisation. Selon les auteurs, cette amélioration du jugement de mémorisation expliquerait en retour le perfectionnement de l'activité stratégique des enfants. En effet, les enfants seraient alors plus à même d'identifier quelles activités permettraient une meilleure mémorisation ou encore quand poursuivre ou arrêter une phase d'encodage. Selon les auteurs, la progression des performances de mémorisation avec l'âge pourrait davantage s'expliquer par une amélioration des connaissances des enfants sur le processus de mémorisation et des moyens de l'optimiser que par une augmentation progressive des capacités de stockage. Cette perspective du développement de la mémoire contraste avec le point de vue traditionnel behavioriste selon lequel le processus de mémorisation serait passif et conditionné par le nombre d'expositions à un stimulus (voir Koriat, 2007). La même année, Tulving et Madigan (1970) feront part d'intuitions similaires anticipant l'avènement de la métacognition :

> Pourquoi ne pas commencer à chercher des façons expérimentales d'étudier, et d'incorporer dans nos théories de la mémoire, l'une des caractéristiques propres à la mémoire humaine : sa connaissance de sa propre connaissance. Aucune des théories existantes […] ne prend en compte le fait que le système mnésique humain peut non seulement produire une réponse apprise en réaction à un stimulus ou récupérer une image, mais peut aussi précisément estimer sa probabilité de succès à réaliser ces activités. […]. Nous ne pouvons pas nous empêcher de penser que s'il y a une importante découverte à réaliser dans l'étude psychologique sur la mémoire […] elle porterait, parmi d'autres possibilités, sur les connaissances stockées par un individu sur les connaissances qu'il possède sur sa connaissance (p.477, notre traduction).

Depuis les recherches pionnières de Flavell, de nombreux travaux ont corroboré ses hypothèses sur le rôle de la métacognition dans le processus de mémorisation. Par la suite, les investigations ont porté sur le rôle de la métacognition dans le développement d'autres composantes cognitives. Ces différentes recherches ont donné naissance à de nouvelles

terminologies, comme par exemple, la méta-mémoire, la méta-attention, la méta-compréhension ou encore la méta-linguistique (Brown, 1978 ; Tarricone, 2011). L'émergence de ces différentes ramifications au domaine de la métacognition s'est accompagnée de courants théoriques nombreux et distincts. Cela a souvent conduit les auteurs à s'interroger sur la clarté et la pertinence du concept de métacognition (voir Brown, 1987 ; Gagnière, 2010 ; Taricone, 2011). Selon Winne & Azevedo (2014), l'utilisation du préfixe « méta » aux diverses composantes cognitives (e.g., attention, compréhension) laisse supposer que la métacognition renverrait à des processus spécifiques et de hauts niveaux pour chacune de ces composantes. Toutefois, selon ces auteurs, les processus métacognitifs ne se distingueraient pas des processus cognitifs de par leur nature mais par l'objet sur lequel ils portent, à savoir la cognition. Autrement dit, la métacognition renverrait plutôt à des processus cognitifs similaires appliqués à chacune des composantes de la cognition.

Même si la pertinence de ces différentes ramifications est encore aujourd'hui débattue, la plupart des auteurs s'accordent à reconnaitre que la qualité d'un apprentissage autorégulé serait déterminée par deux sous-composantes de la métacognition : les *connaissances* métacognitives et la *régulation* métacognitive (e.g., Brown, 1987 ; Eme & Rouet, 2002 ; Flavell, 1979 ; Schraw & Denison, 1994 ; Schraw & Moshman, 1995 ; Tobias & Everson, 2009 ; Veenman, 2011a). Les *connaissances* métacognitives renvoient aux connaissances que possède un individu sur le fonctionnement de sa cognition et sur les stratégies pour l'optimiser. Les processus de *régulation* métacognitive peuvent être assimilés à des fonctions exécutives spécifiquement appliquées à l'objet de la cognition (e.g., Brown, 1978 ; Fernandez-Duque, Baird, & Posner, 2000 ; Schwartz, Scott, & Holzberger, 2013).

2.1. Les connaissances métacognitives

Selon Flavell (1979), les connaissances métacognitives correspondent à l'ensemble des connaissances et/ou croyances d'un individu concernant les facteurs pouvant influencer son activité cognitive. Flavell distingue 3 types de connaissances et/ou croyances métacognitives : les connaissances sur la personne, sur la tâche et sur les stratégies. Les connaissances métacognitives sur la personne réfèrent à toutes connaissances ou croyances que possède un individu sur le fonctionnement du système cognitif. Ces connaissances peuvent aussi bien porter sur des

différences cognitives intra-individuelles qu'inter-individuelles. Ainsi, un individu, peut estimer qu'il étudie mieux le matin que l'après-midi (différence intra-individuelle), ou encore, qu'un enfant a plus de mal à maintenir son attention durant la lecture d'un texte qu'un adulte (différence inter-individuelle). Selon Flavell, les connaissances métacognitives sur la tâche réfèrent aux connaissances et/ou croyances concernant les caractéristiques d'une tâche ainsi que l'intérêt qu'un individu peut y porter. Ces connaissances métacognitives incluent la perception d'un individu sur les exigences et les buts de la tâche ainsi que le sentiment de facilité à atteindre ces objectifs. Enfin, les connaissances sur les stratégies cognitives regroupent les connaissances et/ou croyances concernant l'efficacité des stratégies cognitives, le moment pour les déployer et la raison de les utiliser (i.e., connaissances conditionnelles) ainsi que la façon de les déployer (i.e., connaissances procédurales) (voir aussi Brown, 1987 ; Eme & Rouet, 2002 ; Schraw, 1998 ; Schraw & Denison, 1994 ; Schraw & Moshman, 1995). Pour Flavell, ces différents types de connaissances interagissent entre elles et guident les activités d'apprentissage.

L'ensemble de ces connaissances métacognitives serait stocké en mémoire à long terme et suivrait en conséquence le même processus d'encodage que toutes autres connaissances déclaratives. De même, ces connaissances peuvent être aussi bien justes que fausses ou encore ne pas être activées au bon moment (Flavell, 1979). Par exemple, de nombreux étudiants pensent posséder un style d'apprentissage prédominant visuel, auditif ou kinesthésique et sélectionnent, sur la base de ces fausses croyances, des stratégies d'apprentissage parfois inappropriées (voir par exemple Kirschner, 2017 ; Kirschner & Merrinboer, 2013). Par conséquent, le bien-fondé des connaissances et croyances métacognitives est un prérequis important pour la qualité de l'apprentissage autorégulé. En effet, les enfants, comme les adultes, utilisent leurs connaissances métacognitives pour autoréguler leur activité stratégique d'apprentissage (Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013).

2.2. La régulation de la cognition

Nelson et Narens (1990, 1994) ont proposé un modèle de la métacognition au sein duquel deux niveaux interreliés sont distingués : le niveau *objet* et le niveau *meta*. Le niveau *objet* correspond aux *Produits* cognitifs de chacune des 4 étapes de l'AAR décrites dans le modèle de Winne et Hadwin (1998, 2008, 2013). Le niveau *meta*, quant à lui, est une simulation

dynamique de ce que devrait être le niveau *objet*. Autrement dit, ce niveau s'apparente aux *Standards* d'apprentissage du modèle de Winne et Hadwin (e.g., niveau de mémorisation, niveau de compréhension souhaité ou encore le temps que l'apprenant consent à accorder à la tâche). Ces deux niveaux seraient liés par deux processus métacognitifs : le processus de *monitoring* et le processus de *control* (Nelson & Narens, 1990, 1994 ; voir Fig. 7). Selon le modèle de Winne et Hadwin (1998, 2008, 2013), les processus de *monitoring* et de *control* seraient au centre de la régulation autonome d'un apprentissage.

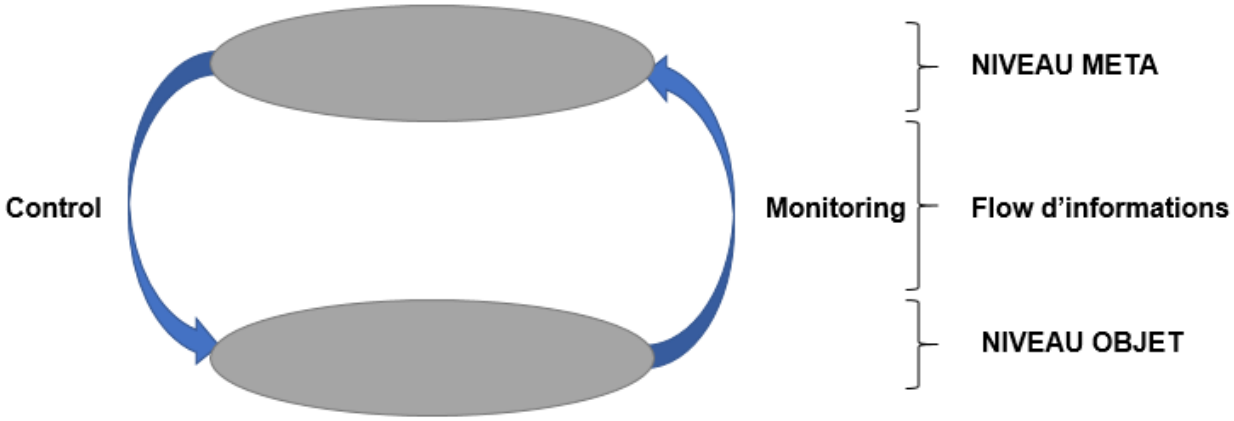


Fig. 7. Figure extraite de Nelson & Narens (1990) représentant les deux niveaux interreliés par les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control.*

2.2.1. Le processus de monitoring

Comme le souligne Maillard (2015), l'activité de *monitoring* a été référencée sous de nombreux termes dans la littérature. En français, les termes d'auto-contrôle, supervision ou *monitoring* sont les plus souvent utilisés (pour une discussion sur ce point voir Maillard, 2015). Dans cette thèse, le terme *monitoring* sera utilisé. Le *monitoring* est un processus de surveillance de l'activité cognitive renseignant l'apprenant sur l'écart existant entre l'état perçu des connaissances et les *Standards* d'apprentissage préalablement fixés. Autrement dit, le processus de *monitoring* permet d'effectuer une comparaison entre les normes d'apprentissage de l'apprenant et l'estimation qu'il réalise de l'état de sa cognition. Pour évaluer la précision du *monitoring*, la performance réelle d'apprentissage d'un individu est généralement comparée à sa performance estimée (jugement métacognitif). Ces jugements métacognitifs peuvent être

prospectifs ou rétrospectifs selon le moment auxquels ils sont réalisés par rapport à la tâche test évaluant les performances d'apprentissage (Huet & Mariné, 1998 ; Maillard, 2015 ; Nelson & Narens, 1990 ; Schraw, 2009). Les jugements rétrospectifs sont effectués après la tâche test (i.e., certitude ou confiance des individus sur une ou des réponses émises). Les jugements prospectifs sont, quant à eux, des prédictions réalisées par un apprenant sur la capacité à réussir ou échouer à la tâche test. Par conséquent, ils peuvent être réalisés avant ou après la session d'apprentissage mais toujours avant la tâche test. Ces jugements prospectifs portent soit sur un élément précis de l'apprentissage (micro-prédiction), soit sur l'ensemble des éléments évoqués durant la session d'apprentissage (macro-prédiction) (pour une discussion sur les micro et macro-prédictions voir Maillard, 2015). Trois types de jugements prospectifs sont classiquement distingués : les jugements de facilité d'apprentissage (en anglais *Ease of Learning,* EOL), le sentiment de savoir (en anglais *Feeling Of Knowing*, FOK) et les jugements d'apprentissage (en anglais *Judgment Of Learning*, JOL).

Les EOL sont des estimations réalisées par un apprenant sur la difficulté ou la facilité qu'il aura à apprendre un matériel (Nelson & Narens, 1990). Dans ce cas, le matériel à apprendre, par exemple une liste de mots, est présenté aux participants. Il leur est alors demandé d'estimer la difficulté qu'ils auront à mémoriser le matériel. Le degré de difficulté estimée est généralement exprimé sur une échelle graduée. Ce type de jugement serait influencé par les caractéristiques du matériel, comme par exemple la longueur ou la familiarité des mots à apprendre (Jemstedt, Kubik, & Jönsson, 2017 ; Koriat, 1997). Par ailleurs, les EOL sont faiblement corrélés à la performance réelle des étudiants (e.g., Leonesio & Nelson, 1990). Toutefois, comme le soulignent Nelson et Narens (1990, 1994), ce type de jugement prospectif pourrait influencer les comportements d'apprentissage déployés pendant la tâche (pour une récente discussion sur les EOL, leur précision et les paramètres qui les influencent voir Jemstedt *et al.*, 2017).

Les FOK sont des estimations sur la probabilité à reconnaitre ultérieurement une information qu'on ne peut rappeler sur le moment (e.g., Hart, 1965, 1966). La méthode Rappel-Jugement-Reconnaissance est classiquement utilisée pour étudier ce type de jugement. Dans cette méthode, les participants commencent par apprendre une liste de mots. La suite de l'expérience se déroule en trois phases : premièrement, un test de récupération est

présenté aux participants (Rappel). Deuxièmement, ils doivent réaliser un jugement sur leur capacité à reconnaitre l'information non rappelée (Jugement). Troisièmement, une tâche de reconnaissance de l'information leur est proposée (Reconnaissance) (voir Schwartz, Boduroglu, & Tekcan, 2016). Les études qui utilisent cette méthode ont montré que les estimations produites par les participants sur leur capacité à reconnaitre une information qu'ils ne parviennent pas à récupérer sont relativement précises (Hart, 1965, 1966 ; Schwartz *et al.*, 2016 ; Souchay, 2013).

Les JOL sont des jugements émis suite à un apprentissage. Ils correspondent à des prédictions sur la performance que le participant pense obtenir lors d'une tâche test. Les recherches sur le JOL ont été réalisées sur des tâches de mémorisation de listes de mots (e.g., Dunlosky & Nelson, 1992 ; Leonesio & Nelson, 1990 ; Lovelace, 1984 ; Nelson & Dunlosky, 1991), mais aussi sur des tâches plus complexes de compréhension de texte (e.g., Glenberg & Epstein, 1985 ; Thiede *et al.*, 2003) ou de compréhension de document multimédia (e.g., Eitel, 2016 ; Jaeger & Wiley, 2014 ; Serra & Dunlosky, 2010). Dans ces différents travaux, les participants ont pour tâche de réaliser un jugement qu'ils n'auraient peut-être pas produit spontanément dans une situation d'apprentissage plus écologique (voir Schnaubert & Bodermer, 2017). D'autres études, utilisant notamment des protocoles verbaux, ont cherché à étudier la production de JOL en temps réel (e.g., Azevedo & Cromley, 2004 ; Greene *et al.*, 2015 ; Moos, 2014). Dans ces recherches, les participants ont pour consigne de verbaliser en continu leurs pensées à voix haute. Ainsi, il est possible de quantifier le nombre de jugements d'apprentissage positifs (e.g., j'ai compris) et négatifs (e.g., je n'ai pas compris) émis par un apprenant lors d'une tâche d'apprentissage. En outre, l'utilisation des protocoles verbaux a permis d'étudier l'impact, en temps réel, d'une production de JOL sur les modifications de déploiement d'autres activités cognitives et métacognitives (Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015). Les JOL représentent les jugements métacognitifs qui ont été les plus largement étudiés dans la littérature (Schraw, 2009). Cet intérêt vient du fait que les processus de *control* des étudiants sont déterminés par la production (Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015) et par la précision (Son & Metcalfe, 2000 ; Thiede *et al.*, 2003) de ces jugements d'apprentissage. Durant cette thèse, nous étudierons plus spécifiquement les moyens de favoriser la production et la précision des JOL.

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

2.2.2. Le processus de control

Selon le modèle de Nelson et Narens (1990, 1994), si un écart entre l'état de cognition et l'objectif d'apprentissage est détecté par le *monitoring*, le processus de *control* peut alors modifier l'activité d'apprentissage. Ce processus de *control* activerait ce que les auteurs nomment la librairie métacognitive, c'est-à-dire un stock contenant des connaissances sur l'ensemble des stratégies d'apprentissage, leur efficacité ainsi que le moment où les utiliser. Suite à cette activation, une prise de décision sera effectuée sur l'application de la stratégie jugée la plus adaptée à la situation d'apprentissage (voir Fig. 8).

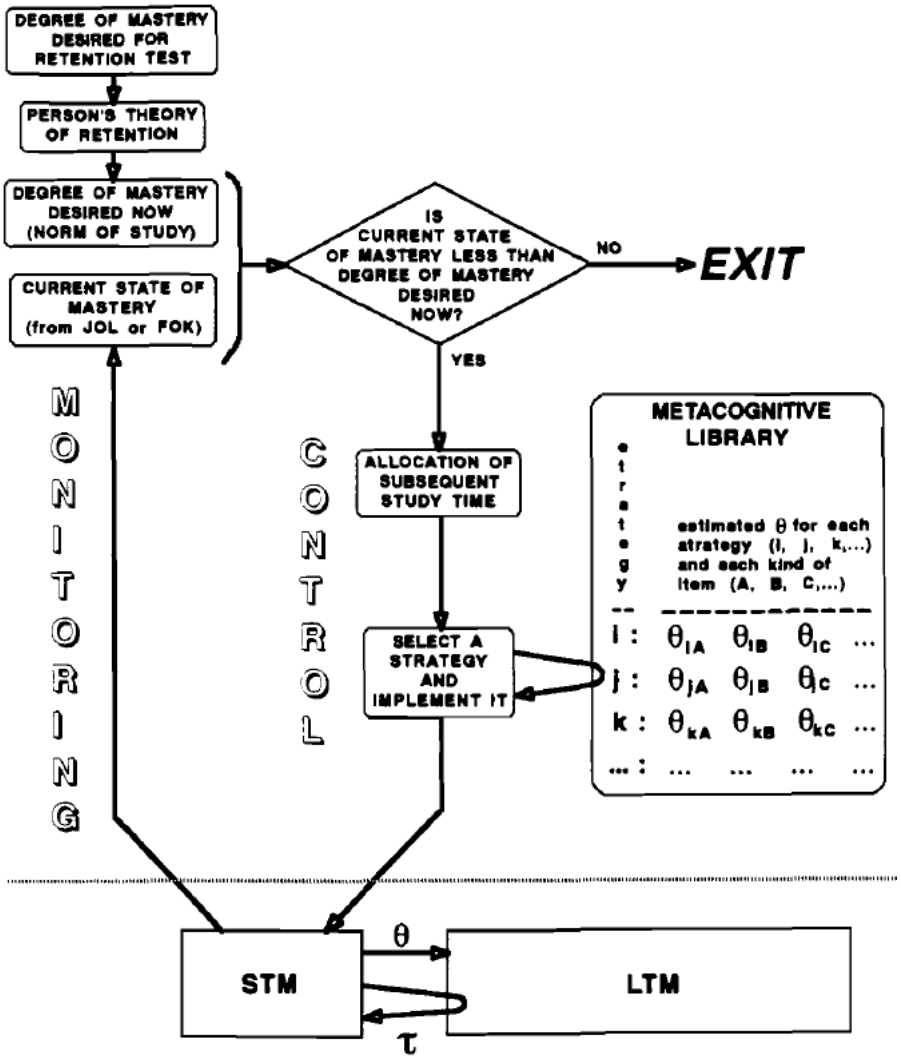


Fig. 8. Modèle d'interaction du processus de *monitoring* et de *control* extrait de Nelson & Narens (1990).

Le lien entre les processus de *monitoring* et *control* a souvent été examiné à partir de la correspondance entre les JOL et l'AAR des étudiants (Dunlosky & Ariel, 2011 ; Kornell & Metcalfe, 2006 ; Metcalfe, 2009 ; Metcalfe & Kornell, 2005 ; Thiede & Dunlosky, 1999 ; Thiede *et al.*, 2003 ; Winne & Hadwin 1998). Dans ces études, le temps alloué par les individus à une session de révision est généralement mesuré pour rendre compte de l'AAR. Les résultats de ces travaux ont montré que les individus régulaient leur apprentissage en suivant un principe de réduction de l'écart. En d'autres termes, les étudiants alloueraient du temps d'étude et déploieraient des stratégies d'apprentissage jusqu'à ce que le processus de *monitoring* estime qu'il n'existe plus d'écart entre leur état cognitif et leurs objectifs d'apprentissage (Dunlosky & Ariel, 2011 ; Dunlosky & Hertzog, 1997 ; Thiede & Dunlosky, 1999). Par ailleurs, ce lien entre *monitoring* et *control* a aussi été plus spécifiquement décrit par Winne et Hadwin (1998) via une règle de condition-action : SI et ALORS. La composante SI représente l'activité de *monitoring*. La composante ALORS représente l'activité de *control.* Par exemple, SI mon jugement d'apprentissage pour un cours est en-dessous de mes *Standards* d'apprentissage, ALORS je déploierai plus de stratégies de relecture. Plus récemment, Metcalfe et Kornell (Kornell & Metcalfe, 2006 ; Metcalfe, 2009 ; Metcalfe & Kornell, 2005) ont précisé les conditions d'activation du processus de *control*. Selon ces auteurs, la réduction de l'écart entre l'estimation et les buts d'apprentissage se baserait sur un principe de zone proximale d'apprentissage. Plus précisément, les apprenants commenceraient par allouer plus de temps d'étude aux items les plus simples et continueraient à étudier jusqu'à ce qu'ils jugent que le taux d'apprentissage potentiel des items restants soit proche de zéro. En d'autres termes, le processus de réduction de l'écart pourrait s'interrompre lorsque les apprenants estiment que les items ne sont plus dans leur zone proximale d'apprentissage.

3. L'origine métacognitive d'un apprentissage autorégulé inefficace

De nombreuses études ont montré l'existence d'un lien entre les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* (e.g., Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Koriat, 2012 ; Koriat, Ma'ayan, & Nussinson, 2006 ; Metcalfe, 2009 ; Metcalfe & Finn, 2008 ; Metcalfe & Kornell, 2005 ; Thiede *et al.*, 2003 ; Yang, Potts & Shanks, 2017a). Ces recherches ont révélé que la qualité des décisions d'apprentissage issues du processus de *control* -et ainsi la qualité de

l'apprentissage autorégulé- reposerait d'une part sur le nombre de jugements d'apprentissage effectués lors de la phase d'apprentissage (e.g., Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Greene & Azevedo, 2009) et d'autre part, sur la précision de ces jugements (e.g., Bjork *et al*., 2013 ; Dunlosky & Rawson, 2012 ; Nietfeld, Cao, & Osborne, 2006 ; Thiede, 1999). Toutefois, de nombreuses recherches ont mis en évidence que les étudiants ont tendance à vérifier rarement leur compréhension (Roelle, Schmidt, Buchau, & Berthold, 2017 ; Sanchez & Garcia-Rodicio, 2013) et, de manière générale, à surestimer la qualité de leur apprentissage (e.g., Dunlosky & Thiede, 2013 ; Glenberg, Sanocki, Epstein, & Morris, 1987 ; Hadwin & Webster, 2013 ; Hattie, 2013 ; Koriat & Bjork, 2005). Ces déficits dans l'activité de *monitoring* seraient particulièrement importants lors de tâches de compréhension de texte (e.g., Pressley & Ghatala, 1990 ; Thiede, Griffin, Wiley, & Redford, 2009) et de multimédia (Eitel, 2016 ; Jaeger & Wiley, 2014 ; Kühl *et al.*, 2011). Par ailleurs, la surestimation du *monitoring* est associée à de plus faibles performances d'apprentissage (Bjork *et al.*, 2013 ; Dunlosky & Rawson, 2012 ; Yue *et al*., 2015). Étant donné le rôle central du processus de *monitoring* dans un apprentissage autorégulé (Dunlosky & Thiede, 2013 ; Greene & Azevedo, 2007a, 2009 ; Griffin *et al.*, 2013 ; Moos & Azevedo, 2009 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013), et suite à ces constatations, la question reste posée de déterminer les mécanismes sous-tendant l'estimation produite par le processus métacognitif de *monitoring* (Alexander, 2013 ; Bol & Hacker, 2012 ; Dunlosky & Thiede, 2013). En effet, une meilleure compréhension de ces mécanismes pourrait guider la conception de solutions pédagogiques soutenant le processus de *monitoring*.

3.1. Le fonctionnement du *monitoring* et les origines de son déficit

Dans leur modèle de l'AAR, Winne et Hadwin (1998) définissent le processus de *monitoring* comme une opération cognitive comparant deux types d'inputs en vue d'obtenir un *Produit*. Le premier input correspond aux objectifs d'apprentissage fixés par l'apprenant. Le second input correspond à l'estimation effectuée par l'apprenant sur son état cognitif durant la tâche. Le processus de *monitoring* consiste à comparer l'écart existant entre ces deux inputs. Le résultat de cette comparaison constituera à son tour un input pour guider le processus de *control.* En conséquence, la précision du *monitoring* repose sur une représentation claire et non biaisée

des objectifs d'apprentissage ainsi que sur une estimation précise de l'état actuel du système cognitif (Winne, 2011).

3.1.1. La précision du monitoring

Les premières recherches sur la précision du *monitoring* ont été réalisées sur des tâches de mémorisation de mots (e.g., Dunlosky & Nelson, 1992 ; Hart, 1965 ; King, Zechmeister, & Shaughnessy, 1980 ; Leonesio & Nelson, 1990 ; Lovelace, 1984 ; Nelson & Dunlosky, 1991). Classiquement, dans ces études, les participants avaient pour tâche de mémoriser une liste de mots et devaient ensuite effectuer un jugement sur leur capacité à rappeler ou non les mots préalablement présentés. Les résultats de ces travaux ont montré que les jugements émis par les participants sur leur capacité à rappeler ultérieurement les mots appris étaient relativement précis. Cependant, des études plus récentes ont indiqué que, lors de tâches plus complexes telles que de la compréhension de textes, les apprenants présentent davantage de difficultés pour juger précisément de la qualité de leur apprentissage (Dunlosky & Lipko, 2007 ; Eme & Rouet, 2001 ; Griffin, Wiley, & Thiede, 2008 ; Kelemen, Winningham, & Weaver, 2007). Ces jugements moins précis résulteraient d'une difficulté à disposer des deux inputs nécessaires (objectif d'apprentissage et estimation de l'état cognitif) à la production d'un jugement d'apprentissage précis.

Lors d'une tâche de mémorisation de mots, l'objectif d'apprentissage est clair et précis : il consiste à mémoriser l'ensemble des mots. Par conséquent, pour effectuer un jugement d'apprentissage, le participant peut, en amont, simuler la récupération de chacun des mots (Dunlosky & Hertzog, 1997 ; Lovelace, 1984 ; Nelson & Dunlosky, 1991). Le résultat de cette simulation procure à l'apprenant un *feedback* objectif sur son état cognitif actuel (Koriat, 1997). En revanche, en situation de compréhension d'un texte, cette génération interne de *feedbacks* est plus difficile (Glenberg *et al.*, 1987 ; Thiede *et al.*, 2009). En effet, dans la mesure où l'objectif de compréhension est moins transparent que celui de la mémorisation de mots, l'estimation de l'état cognitif est alors plus difficile à réaliser (voir Thiede *et al.*, 2009). Dans ce cas, les étudiants ont tendance à recourir à d'autres types d'indices pour estimer la qualité de leur apprentissage, comme par exemple la familiarité avec le document, la facilité de traitement du texte ou encore

la récupération des informations présentes en mémoire à court terme (Glenberg *et al.*, 1987 ; Jaeger & Wiley, 2015 ; Thiede *et al.*, 2009). Toutefois, ces indices ne reflèteraient pas systématiquement leur état cognitif et leurs utilisations favoriseraient une surestimation des performances à un prochain test ou examen (Ariel & Dunlosky, 2011 ; Dunlosky & Nelson, 1992 ; Finn, Tauber, & Tauber, 2015 ; Hertzog, Hines, & Touron, 2013 ; Karpicke, 2009 ; Koriat & Bjork, 2005 ; Metcalfe & Finn, 2008 ; Nelson & Dunlosky, 1991 ; Pyc, Rawson, & Aschenbrenner, 2014 ; Thiede & Anderson, 2003 ; Thiede, Griffin, Wiley, & Anderson, 2010 ; Thiede *et al.*, 2009). Ainsi, le recours à ce type d'indice pourrait, en partie, expliquer la surestimation communément observée chez les étudiants. Par ailleurs, d'autres travaux suggèrent qu'une activité de *monitoring* peu soutenue durant la tâche d'apprentissage pourrait également être à l'origine de ce déficit (Moos, 2014 ; Moos & Azevedo, 2009 ; Roelle, Schmidt, *et al.*, 2017 ; Sanchez & Garcia-Rodicio, 2013).

3.1.2. La fréquence de l'activité de monitoring durant la tâche

Dès 1917, Thorndike constate que certains enfants ne vérifient pas spontanément leur compréhension quand ils lisent un texte. Selon ses observations, ces enfants liraient passivement les mots du texte sans activement contrôler leur sens ce qui entrainerait des difficultés de compréhension. Plus récemment, le recours aux protocoles verbaux a permis d'étudier plus précisément la fréquence de *monitoring* effectuée durant un apprentissage. Par exemple, au cours de la consultation d'un hypermédia, l'activité de *monitoring* représente le second processus d'AAR le plus fréquemment utilisé (20%) derrière les stratégies d'apprentissage (50%) (Azevedo & Witherspoon, 2008). Plusieurs études ont montré l'existence d'un lien entre la fréquence d'utilisation du *monitoring* et les performances en compréhension de documents multimédias (e.g., Azevedo, Guthrie *et al.*, 2004 ; Cromley *et al.*, 2010b ; Greene & Azevedo, 2009). Une utilisation peu fréquente de l'activité de *monitoring* conduirait les apprenants à ne pas détecter leurs difficultés de compréhension et ainsi à surestimer la qualité de leur apprentissage (Roelle, Schmidt *et al.*, 2017). De plus, selon Baker & Brown (1984), cette activité de *monitoring* ou de débogage favoriserait le passage d'un processus de compréhension automatique à un processus conscient et contrôlé qui permettrait à l'apprenant, lorsque cela est nécessaire, de réajuster son activité stratégique en ralentissant sa lecture ou en déployant de nouvelles stratégies.

3.2. Du déficit du processus de *monitoring* au déficit du processus de control

Les sections précédentes ont souligné l'importance pour le lecteur de réaliser régulièrement des activités de *monitoring* et d'estimer précisément la qualité de son apprentissage au regard de l'objectif fixé. Néanmoins, lorsque le processus de *monitoring* détecte des difficultés de compréhension, le processus de *control* doit être en mesure de réajuster l'activité stratégique d'apprentissage (Azevedo, Moos, Johnson, & Chauncey, 2010). Autrement, dit, le processus de *control* doit être capable de modifier le cours de l'apprentissage de manière adaptée en déployant des stratégies qui permettraient à l'apprenant de réduire l'écart entre l'état cognitif estimé et les objectifs d'apprentissage préétablis (Dunlosky & Ariel, 2011). Toutefois, les prises de décision suivant un jugement d'apprentissage ne sont pas systématiquement optimales (Ariel, 2013 ; Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Nelson & Leonesio, 1988 ; Roelle, Schmidt, *et al.*, 2017 ; Thiede, Redford, Wiley, & Griffin, 2017). Par exemple, Roelle, Schmidt, *et al.* (2017) ont réalisé une étude dont l'un des objectifs était d'étudier le lien entre le processus de *monitoring* et de *control*. Après avoir été informés des risques d'une confiance excessive en leurs capacités de compréhension, des étudiants universitaires et des adolescents devaient étudier un document multimédia portant sur la structure atomique des molécules. Un questionnaire était ensuite proposé aux participants avant d'évaluer leurs performances en compréhension. Les résultats de cette recherche montrent que le nombre de jugement d'apprentissage est plus élevé chez les participants qui reçoivent ce type d'information par rapport à ceux qui ne bénéficient pas de cette information. Par ailleurs, cette augmentation du nombre de jugement d'apprentissage s'accompagne d'une amélioration des performances d'apprentissage chez les étudiants universitaires mais pas chez les adolescents. Selon les auteurs, ce phénomène pourrait s'expliquer par des difficultés du processus de *control* des adolescents à convertir les produits du *monitoring* en un ajustement adapté de l'activité stratégique. Binbaşaran-Tüysüzoğlu et Greene (2015), ont étudié plus précisément, à partir d'un protocole de verbalisation, les régulations opérées par les apprenants suite à un jugement d'apprentissage négatif. Dans cette étude, les participants devaient apprendre des notions portant sur la circulation du sang à partir d'un hypermédia. L'objectif de cette recherche était de tester l'effet de la qualité des prises de décision effectuées par le processus de *control* sur les performances en mémorisation et en compréhension. Les

auteurs ont distingué les comportements métacognitifs adaptatifs des comportements métacognitifs statiques. Les premiers réfèrent aux modifications comportementales qui apparaissent suite à un jugement d'apprentissage négatif. Les seconds renvoient aux comportements de maintien de l'activité d'apprentissage et ce, malgré la production préalable d'un jugement négatif d'apprentissage. Dans cette étude, la tâche des participants consistait à apprendre un document hypermédia portant sur la circulation sanguine. Les résultats révèlent que les étudiants qui réalisent plus de comportements métacognitifs adaptatifs obtiennent de meilleures performances d'apprentissage que les étudiants qui utilisent régulièrement des comportements métacognitifs statiques. Par ailleurs, les comportements métacognitifs adaptatifs étaient observés aussi souvent que les comportements métacognitifs statiques. Ainsi, et contrairement au postulat du modèle de réduction de l'écart, identifier des difficultés de compréhension n'induit pas systématiquement une modification de l'activité stratégique. Par conséquent, les difficultés de l'AAR pourraient être également expliquées par des déficits dans le processus de *control*. Par ailleurs, Nelson et Leonesio (1988) ont montré qu'une adaptation de l'apprentissage guidée par le processus de *monitoring* ne conduit pas systématiquement à une amélioration des performances d'apprentissage. Dans leur étude, les participants avaient pour tâche d'apprendre une liste de mots. La moitié d'entre eux recevait une consigne mettant l'accent sur la rapidité de l'encodage. La consigne donnée à l'autre moitié des participants mettait plutôt l'accent sur la qualité de l'encodage. Les expérimentateurs mesuraient l'estimation effectuée par chaque participant quant à la facilité de mémorisation de chaque item ainsi que le temps qu'ils allouaient à l'apprentissage de chacun de ces items. Les résultats ont révélé que lorsque la consigne mettait l'accent sur la qualité de l'encodage, les participants passaient plus de temps à mémoriser les items que le groupe ayant reçu la consigne mettant l'accent sur la rapidité de l'encodage. De plus, les résultats ont montré que le temps d'étude était corrélé négativement aux jugements de facilité produit par le *monitoring*. Cependant, cette adaptation guidée par le processus de *monitoring* n'a pas eu un effet bénéfique sur la qualité de leur mémorisation.

En résumé, l'activité fréquente et précise du *monitoring* est une condition nécessaire mais non suffisante à un apprentissage autorégulé efficace. Les apprenants doivent aussi être en mesure d'identifier quelles sont les stratégies d'apprentissage efficaces à déployer et dans

quelles circonstances les appliquer (Azevedo *et al.*, 2010 ; Donker *et al.*, 2014 ; Karpicke *et al.*, 2009 ; Kornell & Bjork, 2007 ; Pressley & Hilden, 2007 ; Rawson & Dunlosky, 2013 ; Roelle, Schmidt *et al.*, 2017). Par conséquent, le déficit de production décrit au premier chapitre, ou autrement dit, un apprentissage autorégulé inefficace, peut avoir pour origine un déficit dans les processus de *monitoring* mais aussi de *control*. Le chapitre 3 vise à identifier des solutions pédagogiques soutenant les processus de *monitoring* et de *control* en vue d'optimiser l'AAR des étudiants.

CHAPITRE 3 : Optimiser l'apprentissage autorégulé des multimédias

Au regard de la popularité des multimédias dans le milieu de l'éducation, de nombreuses recherches en psychologie se sont intéressées au moyen d'optimiser leur format de présentation. Basées sur les connaissances à propos des capacités et limites du système cognitif, ces recherches ont contribué à élaborer des principes de conception des multimédias destinés à faciliter l'encodage des informations qu'ils présentent (e.g., Berney & Betrancourt, 2016 ; Mayer, 2017). Aujourd'hui, de nombreuses études ont montré que l'application de ces principes à la conception de multimédias aidait les apprenants à extraire les informations pertinentes des documents et facilitait leur mémorisation et compréhension (e.g., Boucheix, Lowe, Putri & Groff, 2013 ; Cojean & Jamet, 2017 ; Jamet, 2014 ; Jamet & Fernandez, 2016 ; Jamet, Gavota & Quaireau, 2008 ; Richter, Scheiter, & Eitel, 2016). Toutefois, l'application de ces principes est une condition importante mais non suffisante pour garantir la compréhension des contenus multimédias. En effet, si les apprenants échouent à traiter activement les informations qu'ils comportent, leurs performances d'apprentissage seront limitées et ce, même si le document est bien construit (Scheiter *et al.*, 2015 ; Stalbovs, Scheiter, & Gerjets, 2015*)*. Ainsi, afin d'améliorer la compréhension des multimédias chez les apprenants, certains chercheurs ont aussi travaillé à l'élaboration d'interfaces interactives visant à favoriser un traitement actif de l'information, notamment en soutenant les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* (e.g., Azevedo, 2005 ; Azevedo, Cromley *et al.*, 2004 ; Azevedo & Hadwin, 2005 ; Bannert & Mengelkamp, 2013 ; Mayer, 1984, 1989a ; Puntambekar, Sullivan, & Hübschner, 2013). Dans ce chapitre, nous présenterons différents dispositifs de soutien des processus métacognitifs de *monitoring* et de *control.* Il sera discuté plus précisément de l'effet des tests d'entraînement sur ces processus métacognitifs. Pour terminer, nous présenterons les différents moyens de mesure dont nous disposons pour étudier les effets des tests sur l'AAR. L'objectif général sera d'identifier des soutiens métacognitifs efficaces et de mieux comprendre leur impact sur l'AAR.

1. Soutenir les processus métacognitifs

L'un des avantages des Environnements Numériques d'Apprentissage (ENA) est qu'ils permettent de suivre l'évolution des comportements et performances des étudiants au cours de la session d'étude et éventuellement d'interagir avec eux afin de soutenir leur apprentissage (Azevedo, 2005). Ces interactions numériques éducatives, appelées *scaffolding* en anglais, visent à permettre aux apprenants d'atteindre un niveau de compréhension du document qu'ils n'auraient pu atteindre seuls (pour une discussion sur la définition et l'origine du concept voir Belland, Kim, & Hannafin, 2013). Ces *scaffolding* sont conçus à différentes fins : soutenir l'activité métacognitive des étudiants, les inciter à utiliser des stratégies adaptées, les aider à fixer des objectifs appropriés à la tâche ou encore soutenir leur motivation durant la session d'apprentissage (e.g., Azevedo *et al.*, 2013 ; Duffy & Azevedo, 2015 ; Erhel & Jamet, 2013, 2016). Ce travail de thèse traite plus spécifiquement des soutiens aux processus métacognitifs de *monitoring* et de *control.*

1.1. Soutenir le processus de *control*

Comme nous l'avons vu précédemment, l'activité métacognitive de *control* est un processus de prise de décision consistant à sélectionner, dans la librairie métacognitive, des stratégies cognitives et métacognitives adaptées à la tâche d'apprentissage (Nelson & Narens, 1990, 1994). Le processus de *control* serait efficace s'il est en mesure, à partir des informations transmises par le *monitoring*, d'appliquer des stratégies d'apprentissage lui permettant d'atteindre les objectifs fixés au préalable. La difficulté à déployer des stratégies adaptées proviendrait, au moins en partie, du fait que les apprenants ne connaissent pas toujours les bonnes stratégies à utiliser, leur valeur ou quand et comment les utiliser (e.g., Eme & Rouet, 2001 ; Pressley *et al.*, 1989). Sur la base de ce constat, de nombreux chercheurs ont émis l'hypothèse selon laquelle indiquer ou enseigner aux étudiants les stratégies identifiées comme efficaces améliorerait leurs performances d'apprentissage (pour des revues et méta-analyses voir Dignath, Buettner, & Langfeldt, 2008 ; Donker *et al.*, 2014 ; Dunlosky *et al.*, 2013 ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Hattie *et al.*, 1996 ; National Reading Panel, 2000 ; Pressley *et al.*, 1989). Cette hypothèse a été corroborée dans de nombreuses études. En effet, inciter les apprenants à utiliser des stratégies efficaces favorise la mémorisation et la compréhension de textes auprès

d'étudiants universitaires (e.g., Hadwin & Winne, 1996 ; Ponce, López, & Mayer, 2012) mais également auprès d'élèves du secondaire (McNamara, O'Reilly, Best, & Ozuru, 2006 ; Palinscar & Brown, 1984) et du primaire (e.g., Droop, Elsäcker, Voeten, & Verhoeven, 2016). De plus, ces interventions se sont montrées particulièrement efficaces auprès d'apprenants ayant des difficultés de compréhension (e.g., Edmonds *et al.*, 2009 ; Gersten *et al.*, 2001). Plus récemment, d'autres travaux ont mis en évidence des résultats similaires pour la compréhension d'illustrations au sein de documents multimédias (e.g., Cromley, Bergey *et al.*, 2013 ; Cromley, Perez *et al.*, 2013 ; Miller, Cromley, & Newcombe, 2016). Toutefois, malgré des résultats en moyenne positifs, les instructions stratégiques ne montrent pas systématiquement d'effets bénéfiques (Bannert & Reinmann, 2012 ; Eitel & Scheiter, 2016 ; Métayer, 2016). En effet, les apprenants ne prendraient pas toujours en compte les consignes d'apprentissage qui leur sont fournies (Bannert & Reinman, 2012 ; Eitel & Scheiter, 2016 ; Hadwin & Winne, 1996 ; Métayer, 2016, étude 3). Suivant les modèles de la régulation de l'apprentissage, une prise de décision adaptée à utiliser, maintenir ou abandonner une activité stratégique reposerait, entre autres, sur la qualité du processus de *monitoring*.

1.2. Soutenir le processus de *monitoring*

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, la qualité du produit du *monitoring* est déterminée par deux inputs. Le premier est une représentation des objectifs d'apprentissage. Le second est une estimation de la cognition au regard de ces objectifs. Ainsi, les travaux visant à optimiser le *monitoring* se sont généralement focalisés sur l'amélioration de l'un de ces deux inputs. Les recherches qui ont étudié la qualité de l'input « représentation de l'objectif » ont montré que la surestimation des étudiants serait liée à leur tendance à se fixer, par défaut, un objectif de mémorisation et non de compréhension de l'information (Thiede *et al.*, 2010). Dutke, Barenberg, et Leopold (2010) ont réalisé une étude au cours de laquelle les apprenants connaissaient ou non le format de l'évaluation finale avant la session d'apprentissage. Cette connaissance avait pour but d'amener les étudiants à définir des objectifs d'apprentissage adaptés à la tâche. Les résultats de cette étude ont révélé que la corrélation positive entre les jugements d'apprentissage et la performance à l'évaluation finale était plus forte dans le groupe qui connaissait le format de celle-ci que dans l'autre groupe. Cette recherche suggère que

les jugements d'apprentissage effectués pendant la tâche, dans le groupe « avec connaissance », seraient réalisés au regard des critères objectifs de réussite et permettraient ainsi de limiter la surestimation des participants résultant d'une mauvaise représentation des buts de la tâche.

Par ailleurs, d'autres études ont cherché à améliorer le second input « estimation de l'état cognitif ». Une première approche consiste à fournir directement, aux apprenants, des indices fiables sur leur état cognitif via des *feedbacks*. Ces derniers informent les apprenants sur la qualité de leur prestation. Ils peuvent être procurés par une source externe comme par exemple des pairs, un enseignant ou encore un logiciel informatique (pour une revue sur les *feedbacks* voir Azevedo & Bernard, 1995 ; Hattie & Timperley, 2007 ; Shute, 2008). Ces *feedbacks* sont dits correctifs et visent à permettre un réajustement du processus de *monitoring* qui, en retour, peut amener les étudiants à reconsidérer leur engagement dans la session d'apprentissage (Barber, Bagsby, Grawitch, & Buerck, 2011 ; Butler & Winne, 1995).

Une seconde approche consiste à inciter les apprenants à utiliser des stratégies métacognitives afin de leur permettre d'autogénérer leurs propres *feedbacks* sur la qualité de leur apprentissage (Butler & Winne, 1995). Par exemple, Thiede *et al.* (2003) ont étudié si l'utilisation d'une stratégie de génération de mots-clés, suite à la lecture d'un texte, améliore la précision du *monitoring* et ainsi de l'AAR. Dans cette étude, la tâche des participants consistait à lire et comprendre six articles d'encyclopédie en vue de répondre à des questions de mémorisation et de compréhension. Les participants ont été répartis dans trois groupes. Le premier groupe devait générer des mots-clés immédiatement après avoir lu chacun des six articles (groupe « mots-clés immédiats »). Les participants du second groupe lisaient d'abord l'ensemble des six articles avant de produire les mots-clés (groupe « mots-clés différés »). Enfin, les participants du troisième groupe lisaient les six articles sans avoir à générer de mots-clés (groupe contrôle). À la fin de cette tâche, les auteurs ont demandé aux étudiants d'estimer, pour chacun des six articles, leur niveau de compréhension à partir d'une échelle de Likert graduée de 1 (pas du tout compris) à 7 (très bien compris). Les participants devaient ensuite répondre à une première série de questions de compréhension et de mémorisation pour chacun des six articles. Après cette première série de questions, les participants étaient invités à sélectionner l'article ou les articles qu'ils souhaitaient relire avant l'évaluation finale qui comprenait de nouvelles

questions de mémorisation et de compréhension (voir Fig. 9). Dans cette étude, la précision du *monitoring* a été mesurée, pour chaque participant, à partir d'une corrélation de Goodman-Kruskal entre les six estimations produites et les six scores obtenus aux questions de compréhension et de mémorisation.

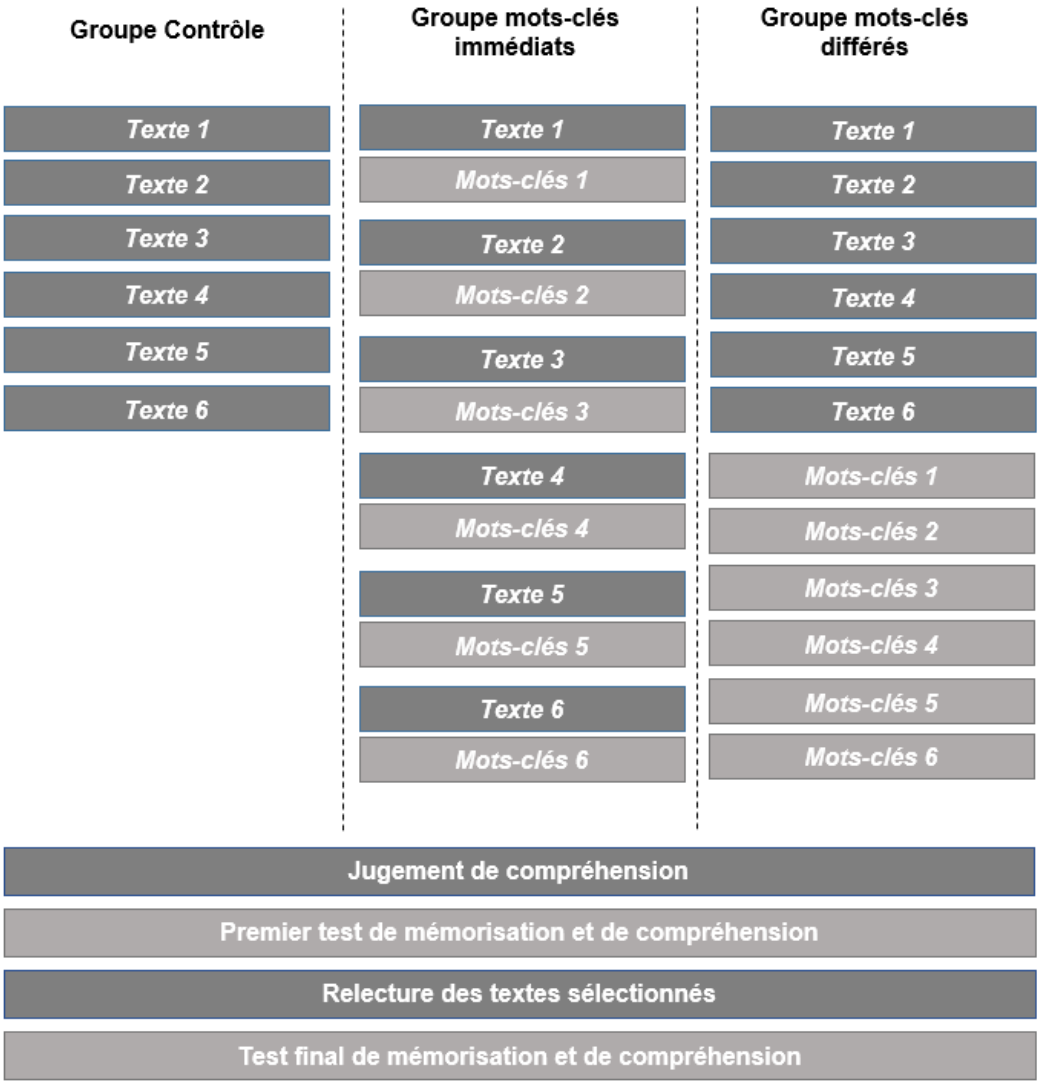


Fig. 9. Procédure de l'expérience de Thiede *et al.* (2003, notre traduction).

Les résultats ont montré que l'ajustement du *monitoring* des étudiants du groupe « mots-clés différés » était meilleur que celui des étudiants des deux autres groupes. Par ailleurs, ce meilleur ajustement amenait les étudiants à une régulation de l'apprentissage plus adaptée dans le choix des articles sélectionnés ce qui, en retour, entrainait des performances plus élevées au

questionnaire final comparativement aux deux autres groupes. L'ensemble de ces résultats suggère que la stratégie de génération de mots-clés serait un moyen efficace pour soutenir le processus de *monitoring*. Selon les auteurs, produire des mots qui résument les principales thématiques d'un texte préalablement lu, implique de récupérer en mémoire une représentation structurée du texte et d'en extraire l'essence. Ainsi, cette stratégie serait réalisée correctement à partir du moment où le lecteur a construit un modèle de situation cohérent. La capacité à générer des mots-clés procurerait alors à l'apprenant un indice objectif sur la qualité de sa mémorisation et de sa compréhension de l'information lue. Toutefois, cette stratégie métacognitive serait efficace seulement si un délai est introduit entre la lecture du texte et l'activité de génération de mots-clés (voir aussi de Bruin, Thiede, Camp, & Redford, 2011 ; Thiede, Dunlosky, Griffin, & Wiley, 2005). En effet, lorsqu'un individu produit des mots-clés immédiatement après avoir lu un texte, il s'appuierait sur ses connaissances stockées en mémoire à court terme (Thiede *et al.*, 2005). Ainsi, cette activité ne serait pas un indicateur pertinent des connaissances stockées en mémoire à long terme et pourrait, en conséquence, favoriser une surestimation de la qualité de l'apprentissage (Dunlosky & Nelson, 1992).

De nombreuses recherches ont mis en évidence l'existence d'autres stratégies métacognitives permettant aux apprenants d'accéder à des indices pertinents de leur état cognitif (pour une revue voir Maillard, 2015) comme par exemple réaliser des résumés (Thiede & Anderson, 2003), élaborer des cartes conceptuelles (Redford *et al.*, 2012 ; Thiede *et al.*, 2010), répondre à des tests d'entraînement (Glenberg *et al.* 1987 ; Koriat & Bjork 2006 ; Pressley & Ghatala, 1989 ; Shaughnessy & Zechmeister, 1992 ; Walczyk & Hall, 1989) créer ses propres exemples à partir d'un texte (Gutierrez & Schraw, 2015 ; Gutierrez de Blume, 2017) ou encore dessiner une représentation du texte (Kostons & de Koning, 2017 ; Schleinschok, Eitel, & Scheiter, 2017). Toutefois, bien qu'il soit aujourd'hui reconnu que ces stratégies de réajustement du processus de *monitoring* peuvent améliorer les performances d'apprentissage, les modifications cognitives et métacognitives sous-tendant ces améliorations ont été assez peu étudiées. Pour mieux comprendre le rôle médiateur de l'activité d'AAR dans la relation entre le *monitoring* et les performances d'apprentissage, nous avons choisi d'utiliser les tests d'entraînement comme outils de recalibration du *monitoring*.

2. L'effet des tests d'entraînement sur l'apprentissage

Les tests sont des outils inhérents au système éducatif. Ils sont souvent considérés par les étudiants comme une nécessité indésirable et par les enseignants comme de simples outils évaluatifs (Dunlosky *et al.*, 2013). Pourtant, les tests, et plus particulièrement les tests d'entraînement, constituent probablement l'une des stratégies d'apprentissage les plus efficaces identifiées dans la littérature scientifique de la psychologie de l'éducation (pour de récentes revues et méta-analyses voir Adesope, Trevisan, & Sundarajan, 2017 ; Benjamin & Pashler, 2015 ; Carpenter, 2012 ; Dunlosky *et al.*, 2013 ; Karpicke, 2017 ; Roediger & Butler, 2011 ; Roediger, Putnam, & Smith, 2011 ; Rowland, 2014). L'intérêt pour ce champ d'investigation remonte au début du 20ème siècle et s'est particulièrement amplifié durant cette dernière décennie (Karpicke, 2017) (Fig. 10).

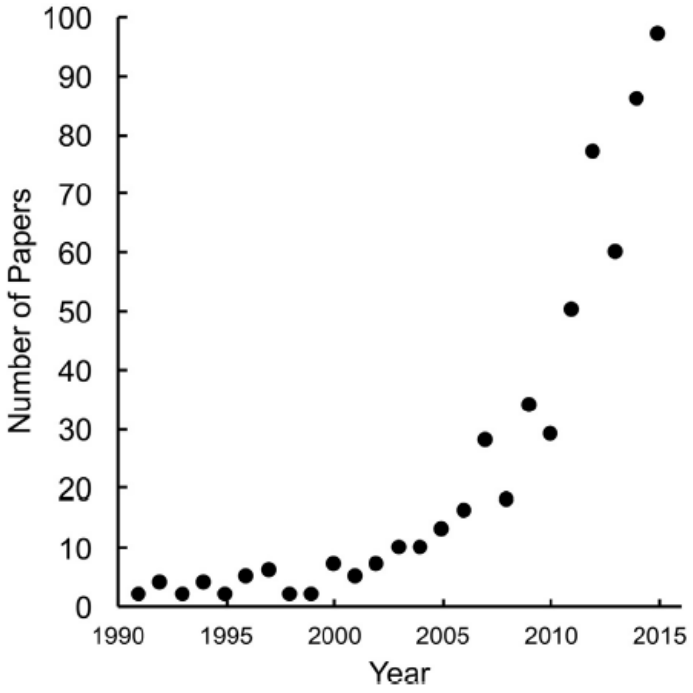


Fig. 10. Nombre d'articles parus par an étudiant l'effet des tests (extrait de Karpicke, 2017).

Les tests d'entraînement renvoient à tout type de test proposé à un étudiant par un enseignant ou par un logiciel informatique et associé à peu ou aucun enjeu académique (Dunlosky *et al.*, 2013). Aujourd'hui, l'effet bénéfique de ces tests n'est plus à démontrer et les

chercheurs recommandent régulièrement l'intégration de tests d'entraînement dans les dispositifs éducatifs. Cependant, quelques études ont pointé l'inefficacité des tests d'entraînement dans certaines conditions (e.g., Bol & Hacker, 2001 ; Maki & Serra, 1992 ; van Gog & Sweller, 2015). Par ailleurs, les mécanismes psychologiques qui sous-tendent leurs effets bénéfiques sur l'apprentissage restent également à définir (Dunlosky *et al.*, 2013 ; Pyc & Rawson, 2012). La compréhension de ces mécanismes est d'autant plus complexe que les tests semblent avoir de multiples effets sur les processus cognitifs et métacognitifs, agissant directement ou indirectement sur l'apprentissage (pour une revue sur les différents effets des tests, voir Roediger *et al.*, 2011).

2.1. L'effet direct des tests

Les tests d'entraînement sont souvent considérés par les chercheurs comme des « difficultés désirables » (voir Bjork & Bjork, 2011). Selon Bjork (1994), les difficultés désirables renvoient aux conditions d'apprentissage qui imposent aux étudiants des efforts supplémentaires mais bénéfiques pour mémoriser et comprendre l'information. Les tests d'entraînement contraignent les apprenants à s'engager dans un processus de récupération de l'information. Ce mécanisme consoliderait l'accès à l'information et augmenterait la probabilité de la récupérer lors d'un test ultérieur (Bjork & Bjork, 2011 ; Dunlosky *et al.*, 2013). Ce phénomène a été nommé dans la littérature *l'effet direct* des tests (Roediger & Karpicke, 2006). Par exemple, Roediger et Karpicke (2006) ont étudié l'effet des tests sur la mémorisation d'un texte. Dans cette étude, trois groupes de participants avaient pour consigne de lire un texte en vue de restituer un maximum d'informations une semaine plus tard. Les participants du premier groupe étudiaient (S) le texte au cours de quatre sessions de dix minutes (SSSS). Les participants du second groupe bénéficiaient de trois sessions d'étude et d'un test d'entraînement (T) au cours duquel ils disposaient de dix minutes pour récupérer un maximum d'informations sur le texte (SSST). Enfin, les participants du troisième groupe étudiaient le texte pendant une seule session d'étude et avaient trois sessions de tests (STTT). A la fin de la session d'apprentissage, l'ensemble des participants devait estimer, sur une échelle de 1 à 7, leur capacité à récupérer dans une semaine l'information qu'ils venaient d'apprendre. Toutefois, lorsque les participants avaient réalisé leur estimation, la moitié d'entre eux étaient invités à récupérer immédiatement les informations apprises (condition de

récupération immédiate). L'autre moitié des participants devait récupérer les informations apprises une semaine plus tard (condition de rappel différé). Les résultats de l'étude montrent que, dans la condition de récupération immédiate, les étudiants du groupe SSSS rappellent plus d'informations que les groupes SSST et STTT. En revanche, dans la condition de rappel différé, le groupe STTT récupère davantage d'informations du texte que les deux autres groupes (voir Fig. 11). Par ailleurs, les résultats indiquent que les participants du groupe SSSS étaient les plus confiants dans leur capacité à restituer l'information apprise une semaine plus tard que les participants des deux autres groupes. L'ensemble de ces résultats suggère que 1) les tests ont un effet de consolidation sur la mémorisation d'éléments préalablement appris, 2) se tester serait une stratégie d'apprentissage plus efficace que se réexposer à l'information à plusieurs reprises et 3) les étudiants ont des connaissances métacognitives approximatives quant à l'efficacité des tests et des relectures sur la mémorisation des items étudiés (voir Fig. 11).

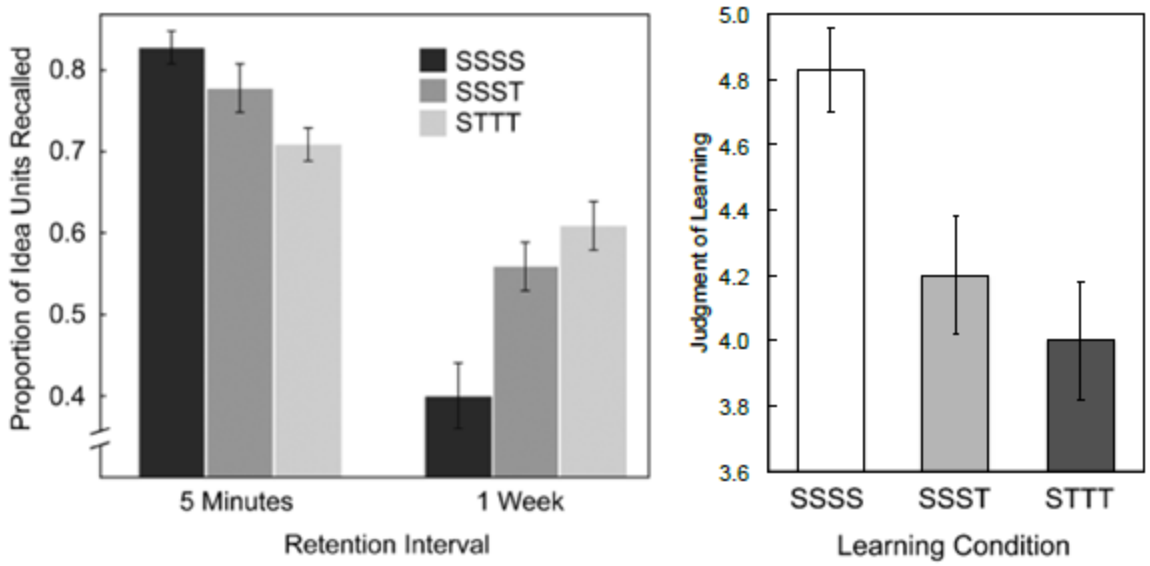


Fig. 11. À gauche, proportions moyennes d'informations rappelées pour chacun des trois groupes (SSSS, SSST et STTT) dans chaque condition (récupération immédiate versus différée) ; à droite, moyennes des scores de confiance des participants sur leur capacité à restituer l'information apprise une semaine plus tard. Données adaptées de Roediger & Karpicke (2006, expérience 2) par Nunes et Karpicke (2015).

L'effet direct des tests sur la mémorisation a été largement répliqué (pour une récente méta-analyse voir Adesope *et al.*, 2017). Toutefois, cet effet direct ne peut pas, à lui seul, rendre compte de l'ensemble des effets positifs des tests sur l'apprentissage (Roediger *et al.*, 2011). Par exemple, plusieurs études ont révélé que le fait de tester des participants sur un matériel préalablement étudié améliore leur mémorisation d'un nouveau matériel (Szpunar, McDermott, & Roediger, 2008 ; Wissman *et al.*, 2011 ; Yang, Potts, & Shanks, 2017b ; Yue *et al.*, 2015). Dans ce cas, la récupération d'informations du premier texte ne peut pas consolider une information qui n'a pas encore été apprise. Ainsi, l'amélioration des performances ne peut pas s'expliquer par un effet direct des tests. Cet effet serait médiatisé par différentes modifications sur le plan cognitif et métacognitif. Ce phénomène est connu dans la littérature sous le nom d'*effet indirect* des tests.

2.2. L'effet indirect des tests

De nombreuses recherches ont montré que proposer un test suite à une session d'étude améliore l'apprentissage d'une session de révision ultérieure (e.g., Arnold & McDermott, 2013 ; Grimaldi & Karpicke, 2012 ; Kornell, Hays, & Bjork, 2009 ; pour une revue voir Pastötter & Bäuml, 2014). Ce phénomène a initialement été nommé par Izawa (1967, 1970, 1971) *the tests potentiated-learning effect*. De plus, d'autres études ont mis en évidence que tester des participants sur un matériel potentialise aussi l'apprentissage d'un nouveau matériel (Szpunar *et al.*, 2008 ; Wissman *et al.*, 2011 ; Yang *et al.*, 2017b ; Yue *et al.,* 2015). Ceci a été observé pour l'apprentissage de paires de mots (e.g., Soderstrom & Bjork, 2014 ; Szpunar *et al.*, 2008 ; Yang *et al.*, 2017b), de textes (Wissman *et al.*, 2011), de multimédias (Eitel, 2016 ; Yue *et al.,* 2015) et de cours sous format vidéo (Jing, Szpunar, & Schacter, 2016 ; Szpunar, Khan, & Schacter, 2013). Différentes explications, non mutuellement exclusives, ont été avancées pour rendre compte de cet effet. Par exemple, Szpunar *et al.* (2008) suggèrent que l'utilisation de tests améliorerait la structuration en mémoire d'informations préalablement apprises. Les informations apprises avant et après le test seraient alors mieux discriminées les unes des autres, ce qui faciliterait la récupération des informations présentées après le test. Dans cette étude, la tâche des participants consistait à mémoriser cinq listes de mots. Un test de récupération des mots était intercalé entre chaque liste de mots pour la moitié des participants (groupe tests). L'autre

moitié des participants était invitée à résoudre des problèmes de mathématiques entre chacune des listes de mots (groupe contrôle). Les deux groupes de participants devaient ensuite rappeler un maximum de mots sur la cinquième liste. Les auteurs ont également mesuré le nombre d'intrusions de mots des listes 1 à 4 lors du rappel des mots de la cinquième liste. Les résultats indiquent que les participants du groupe tests obtiennent un score de récupération plus élevé sur la cinquième liste que les participants du groupe contrôle. De plus, les participants du groupe tests présentent un taux d'intrusion des mots des listes 1 à 4 significativement moins élevé que les participants du groupe contrôle. Selon Szpunar *et al.* (2008), le fait d'intercaler des tests entre les cinq listes de mots conduirait les participants à mieux discriminer l'appartenance de chacun des mots à leur liste respective. Ainsi, lorsque les participants doivent rappeler les mots de la cinquième liste, cette discrimination plus fine leur permettrait de restreindre leur recherche en mémoire uniquement aux mots de la cinquième liste. En focalisant leur recherche à la cinquième liste, les participants éviteraient ainsi une surcharge d'indices de récupération produite par une recherche anormalement élargie aux cinq listes ce qui favoriserait la récupération des mots cibles.

Wissman *et al.* (2011) ont généralisé ces effets à une situation d'apprentissage plus complexe. Dans cette étude, les participants devaient apprendre des informations historiques à partir de trois textes dans le but d'en rappeler un maximum ultérieurement. Le premier groupe de participants effectuait un test de rappel à la fin de chaque texte (groupe expérimental) tandis que le second groupe de participants réalisait les tests de rappel une fois les trois textes lus (groupe contrôle). Dans cette recherche, seules les performances de rappel obtenues au dernier texte étaient comparées entre les deux groupes. Les résultats de cette étude montrent que le nombre d'éléments rappelés est plus élevé dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle. Par ailleurs, comme pour l'étude de Szpunar *et al.* (2008), le taux d'intrusions d'éléments des textes 1 et 2 était plus élevé lors du rappel du texte 3 dans le groupe contrôle comparativement au groupe expérimental. Toutefois, dans la mesure où ce taux d'intrusions restait relativement faible, les auteurs supposent l'implication d'autres mécanismes pour expliquer l'effet indirect des tests. Selon eux, le fait de tester des participants sur un texte pourrait les inciter à utiliser des stratégies d'encodage plus efficaces lors d'un nouvel apprentissage.

D'autres travaux ont, par ailleurs, cherché à mieux comprendre les mécanismes psychologiques sous-tendant l'effet indirect des tests (Eitel, 2016 ; Jing *et al.*, 2016 ; Pastötter, Schicker, Niederhuber, & Bäuml, 2011 ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Szpunar *et al.*, 2013). Dans ce cadre, Pastötter *et al.* (2011) ont étudié l'effet des tests sur l'activité cérébrale, et plus spécifiquement sur l'évolution des ondes alpha (8 à 14 Hz), lors d'une tâche de mémorisation de mots. L'augmentation de la puissance de ces ondes, lors d'une session d'apprentissage, a été mise en lien avec une diminution de l'attention des apprenants ce qui créerait des ruptures dans le processus d'encodage (pour une discussion des recherches sur le sujet voir Pastötter *et al.*, 2011). Dans cette étude, les auteurs ont répliqué l'effet indirect des tests sur les performances de mémorisation. De plus, les résultats ont révélé un maintien des ondes alpha lors de la session d'apprentissage chez les participants qui étaient régulièrement testés. En revanche, une augmentation des ondes alpha était observée chez les participants qui ne bénéficiaient pas régulièrement de sessions de tests. Les résultats de cette étude suggèrent que l'effet indirect des tests pourrait être expliqué par un maintien de l'attention tout au long de la session d'apprentissage. Cette hypothèse a été corroborée par des travaux plus récents montrant qu'insérer des tests durant un apprentissage diminue les divagations de l'esprit des étudiants (Jing *et al.*, 2016 ; Szpunar *et al.*, 2013).

D'autre études ont par ailleurs mis en évidence que l'activité stratégique des apprenants est modifiée suite à un test (e.g., Eitel, 2016 ; Soderstrom & Bjork, 2014). Par exemple, Soderstrom et Bjork (2014) ont proposé à des participants une tâche de mémorisation de listes de mots. Suite à la session d'apprentissage, la moitié des participants bénéficiait d'un test de récupération des mots alors que la seconde moitié des participants avait une séance de révision. L'ensemble des participants pouvait ensuite réviser les mots à leur rythme, une dernière fois, avant une évaluation finale. Soderstrom et Bjork ont montré que lorsque des participants étaient testés sur leur capacité à rappeler des mots précédemment vus, ils prenaient plus de temps pour réviser et déclaraient utiliser plus de stratégies d'apprentissage efficaces que les participants de l'autre groupe. De plus, Eitel (2016) a montré que le temps d'étude alloué à une séance de révision d'un document multimédia est modulé en fonction du score qu'obtiennent préalablement les participants à un test d'entraînement. Par ailleurs, dans cette recherche, les données d'eye-

tracking révèlent que les participants qui ont reçu préalablement un test consultent davantage les schémas du multimédia que ceux qui n'en ont pas reçu. Ces modifications comportementales étaient associées à de meilleures performances à l'évaluation finale. En résumé, ces deux dernières recherches indiquent que les tests ont un effet sur l'apprentissage autorégulé. La question reste de déterminer dans quelle mesure le processus de *monitoring* est responsable de ces modifications comportementales.

3. L'effet indirect des tests : le potentiel rôle du *monitoring*

À la fin des années 80, plusieurs recherches ont mis en évidence un effet des tests sur l'ajustement du processus du *monitoring* (Glenberg *et al.* 1987 ; Pressley & Ghatala, 1989 ; Shaughnessy & Zechmeister, 1992 ; Walczyk & Hall 1989). Par exemple, Pressley et Ghatala (1989) ont étudié dans quelle mesure un test d'entraînement influence les prédictions à réussir un examen futur chez des enfants de 7 et 10 ans et chez des adolescents de 13 ans. Le test d'entraînement était un test de vocabulaire consistant à identifier la signification de 30 mots. Pour réaliser cette tâche, les participants devaient pointer, parmi quatre images, celle qui représentait le mot en question. Les enfants et les adolescents étaient répartis dans trois groupes. Les participants du premier groupe avaient pour consigne de prédire leur réussite à un examen de vocabulaire futur et ce, avant de passer le test d'entraînement (groupe *ease of learning*, EOL). Ceux du deuxième groupe devaient également réaliser cette prédiction mais après avoir effectué le test d'entraînement (groupe *judgment of learning,* JOL). Enfin, les participants du troisième groupe ne réalisaient pas de prédiction sur leur capacité à réussir l'examen de vocabulaire futur mais devaient estimer leur réussite au test d'entraînement (groupe degré de confiance, DG). Par ailleurs, les participants effectuaient soit un test d'entraînement *facile*, soit un test d'entraînement *difficile*. Le test d'entraînement *facile* était composé de 20 mots fréquents et de 10 mots rares. Le test d'entraînement difficile était composé de 10 mots fréquents et de 20 mots rares. Afin d'évaluer la précision des prédictions effectuées, les auteurs ont calculé la différence absolue entre la performance réelle des participants et leur performance prédite. Différents effets ont été observés chez les adolescents : premièrement, les performances prédites étaient en moyennes plus élevées pour le groupe EOL (prédiction avant le test) que pour le groupe JOL (prédiction après le test) et ce, uniquement dans la condition « test d'entraînement

difficile ». Deuxièmement, les adolescents du groupe EOL surestimaient leur performance alors que ceux du groupe JOL prédisaient assez précisément leur performance réelle. Troisièmement, les performances estimées et la précision de ces estimations au regard de la performance réelle n'étaient pas significativement différentes entre les participants du groupe JOL et ceux du groupe DG. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que les mécanismes psychologiques sous-tendant l'estimation de réussite à un test d'entraînement (groupe DG) sont les mêmes que ceux impliqués dans la prédiction de réussite à une évaluation future (JOL). Dans cette étude, aucun effet n'a été observé chez les enfants. Contrairement à ces derniers, les adolescents auraient appris une stratégie métacognitive adaptée consistant à s'appuyer sur leur estimation de performance à un test passé pour prédire leur réussite à un examen à venir.

Plus récemment, plusieurs études ont indiqué qu'en l'absence d'indices pertinents pour juger de la qualité de leur apprentissage, des étudiants adultes se fieraient à leur souvenir de réussite et d'échec à d'anciens tests pour guider leur jugement (Ariel & Dunlosky, 2011 ; Finn & Metcalfe, 2007, 2008 ; Hertzog *et al.*, 2013). En effet, Finn et Metcalfe (2007, 2008) ont indiqué que les jugements d'apprentissage (JOL) des étudiants étaient mieux prédits par leurs résultats à d'anciens tests que par les résultats obtenus aux tests suivants. En d'autres termes, lorsqu'il est demandé à des étudiants d'estimer la qualité de leur apprentissage, ceux-ci élaborent leur jugement, non pas sur la base de l'apprentissage qu'ils viennent de réaliser, mais plutôt sur les conséquences observables et mesurables d'anciens apprentissages. Ainsi, les tests, notamment lorsqu'ils sont accompagnés de *feedbacks* correctifs, pourraient avoir des bénéfices métacognitifs de réajustement du *monitoring* dans la mesure où ils proposeraient aux étudiants des indices pertinents de la qualité de leur apprentissage (Bjork & Bjork, 2011 ; Little & Bjork, 2016 ; Storm, Hickman & Bjork, 2016 ; Yang *et al.*, 2017 ; Yue *et al.*, 2015). Par ailleurs, l'utilisation de tests d'entraînement durant un apprentissage pourrait également permettre aux étudiants de définir plus précisément l'objectif de la tâche (Cerdàn *et al.,* 2008 ; Eitel, 2016 ; Lundeberg & Fox, 1991 ; Rouet & Vidal-Abarca, 2002 ; Storm *et al.*, 2016 ; Thiede, Wiley, & Griffin, 2011). Par exemple, Rouet, Vidal-Abarca, Bert-Erboul et Millogo (2001) ont étudié dans quelle mesure les stratégies de recherche d'informations dans un texte sont influencées par des questions dont le niveau d'exigence diffère. Dans cette recherche, des étudiants universitaires commençaient par

lire un texte scientifique constitué de nombreux paragraphes. Une fois le texte lu, deux types de questions étaient proposés aux participants. La moitié des étudiants répondait à un ensemble de questions dites de haut niveau tandis que l'autre moitié des participants répondait à un ensemble de questions dites de bas niveau. Les questions de bas niveau portaient sur des éléments spécifiques cités dans le document. Les réponses à ce type de question pouvaient donc être directement extraites de segments du texte. Les questions de haut niveau, quant à elles, portaient sur des parties plus larges du document. Les réponses à ce type de question n'étaient donc pas explicites et nécessitaient d'intégrer différentes parties du texte (voir aussi Cerdàn *et al.,* 2008 pour une discussion sur la distinction entre questions de haut et bas niveau). Dans les deux groupes (questions de bas et de haut niveau), les participants étaient de libres de consulter le document pour rechercher les réponses aux questions. Après avoir répondu aux différentes questions, l'ensemble des participants avait pour tâche de réaliser un résumé du texte. Les résultats montrent que les participants du groupe « questions de bas niveau » passaient rapidement en revue l'ensemble des paragraphes jusqu'à identifier celui qui contenait la réponse à la question. Ce paragraphe était alors traité plus longuement que le reste du texte. En revanche, davantage de paragraphes étaient traités plus longuement par les participants du groupe « questions de haut niveau » que par les participants du groupe « questions de bas niveaux ». Par ailleurs, la qualité des résumés produits était meilleure chez les participants ayant reçu les questions de haut niveau que chez les participants ayant bénéficié des questions de bas niveau. Ces résultats suggèrent que les participants du groupe « questions de haut niveau » privilégient des stratégies d'intégration des informations des différents paragraphes alors que les participants du groupe « questions de bas niveau » privilégient des stratégies de localisation des informations. Selon les auteurs, les questions ou les tests d'entrainement agiraient à la manière de consignes précisant aux étudiants les objectifs de la tâche d'apprentissage et influenceraient en conséquence le traitement réalisé sur un document ainsi que la qualité de la représentation mentale élaborée (voir aussi Cerdàn *et al.,* 2008 ; Eitel, 2016 ; Lundeberg & Fox, 1991 ; Rouet et Vidal-Abarca, 2002 ; Storm *et al.*, 2016; Thiede *et al.*, 2011).

Pour résumer, les tests d'entraînement procurent deux types d'information qui pourraient aider les étudiants à réajuster leur processus de *monitoring*. Premièrement, ils permettent

aux étudiants d'identifier les exigences de la tâche d'apprentissage. Deuxièmement, les tests d'entraînement permettent aux étudiants d'expérimenter des succès et des échecs de récupération. Ces derniers peuvent alors servir d'indices informant l'apprenant sur l'écart entre leur état cognitif et l'objectif d'apprentissage fixé par l'exigence des tests (e.g., King *et al.*, 1980 ; Miller & Geraci, 2016 ; Yang *et al.*, 2017). Autrement dit, les tests d'entraînement pourraient être considérés comme des outils permettant de réajuster le processus de *monitoring*. Selon la théorie de la réduction de l'écart, recalibrer le *monitoring* devrait augmenter la probabilité de déclencher des régulations de l'apprentissage (Bahrick & Hall, 2005 ; Dunlosky & Ariel, 2011 ; Koriat & Ma'ayan, 2005) et expliquerait, au moins en partie, les effets indirects des tests observés dans les précédentes études.

4. Mesurer l'effet des tests sur les processus cognitifs et métacognitifs

4.1. Mesurer l'effet des tests sur la précision du *monitoring*

La précision du *monitoring* est généralement évaluée en comparant la performance estimée par l'apprenant à un futur test à sa performance réelle (Schraw, 2009 ; Schraw, Kuch, & Gutierrez, 2013). La performance estimée peut être obtenue en demandant aux participants de réaliser une ou des prédictions sur leurs futures performances à un test (i.e., JOL) après une session d'apprentissage. Par exemple, Dunlosky & Hertzog (1997) ont proposé à des participants une tâche de mémorisation de paires de mots. Chaque paire était présentée pendant 4 secondes. Une fois la session d'encodage réalisée, un des mots de chaque paire était présenté une nouvelle fois aux participants. Pour chacun de ces mots, les participants devaient réaliser une estimation, sur une échelle de 0 à 100, quant à leur capacité à rappeler le mot manquant ultérieurement (JOL). Dix minutes plus tard, les participants devaient rappeler chacun des mots associés au mot présenté. La performance réelle des participants était donc obtenue sur chacun des items. Ainsi, plusieurs performances réelles et estimées étaient recueillies pour chaque participant. Ce type de procédure a été utilisée non seulement pour l'apprentissage de paires de mots, mais également pour l'apprentissage de textes (e.g., Thiede *et al.*, 2003) et de multimédias (e.g., Eitel, 2016). Deux types d'indice peuvent être calculés, à partir des performances réelles et estimées, pour évaluer la précision du *monitoring* : un indice de précision absolue et un indice de précision

relative (pour une discussion de ces mesures, voir par exemple Maillard, 2015 ; Huet & Mariné, 1998 ; Schraw, 2009 ; Schraw *et al.*, 2013). Dans le cas de mesures continues, les indices de précision absolue du *monitoring* mesurent l'écart moyen absolu entre les performances réelles et les performances estimées d'un individu (voir Schraw, 2009). Pour calculer cet indice, chaque performance estimée est soustraite à la performance réelle correspondante. Ces écarts, élevés au carré, sont ensuite additionnés entre eux puis divisés par le nombre total d'items pour obtenir un indice moyen de la précision absolue par participant (pour de récentes études utilisant cet indice voir Mihalca, Mengelkamp, & Schnotz, 2017 ; Schnaubert & Bodemer, 2017) :

$$\text{Indice de la précision absolue} = 1/n \sum_{i=0}^{n} (\, Perf\ estimée_i - Perf\ réelle_i \,)^2$$

Le calcul de cet indice informe quant à l'amplitude de la déviation de l'estimation pour chaque item. Toutefois, il ne permet pas de connaitre le sens de cette déviation (sur ou sous-estimation). Pour ce faire, il est alors possible de calculer un *bias index* (e.g., Dunlosky & Rawson, 2012 ; Nietfeld *et al.*, 2006). Cet indice se calcule de la même manière que l'index de précision absolue à la différence que les écarts obtenus entre les performances réelles et estimées ne sont pas élevés au carré, ce qui permet de déterminer si les participants ont sous-estimé (*bias index* négatif) ou surestimé leurs performances (*bias index* positif).

Les indices de la précision relative du *monitoring* mesurent la corrélation entre les performances estimées et les performances réelles. Dans le cas de mesures d'estimation continues, l'indice de précision relative est mesuré avec une corrélation de Pearson. Si les données sont de nature ordinale, cet indice se calcule avec une corrélation non paramétrique, le gamma de Goodman-Kruskal (voir Schraw, 2009). Ces indices de précision relative évaluent la cohérence globale de l'ensemble des performances estimées par rapport à l'ensemble des performances réelles. Autrement dit, ces indices mesurent la capacité des apprenants à discriminer ce qu'ils ont appris de ce qu'ils n'ont pas appris (pour de récentes études utilisant cet indice voir Pieger, Mengelkamp, & Bannert, 2016 ; Schleinschok *et al.*, 2017).

En résumé, les indices de la précision absolue et ceux de la précision relative sont des mesures différentes mais complémentaires de la mesure du *monitoring*. Les indices de la précision absolue apportent des informations quant à l'amplitude de la déviation des

performances estimées par rapport aux performances réelles alors que les indices de précision relative permettent de mesurer la cohérence générale des performances estimées par rapport aux performances réelles. Ainsi, un même participant peut obtenir des scores très différents à ces deux indices. Par exemple, un participant qui surestimerait systématiquement (pour chaque item) ses performances de 40 points aurait un *bias index* de + 40 mais une corrélation de 1 (voir Fig. 12, participant 1). En revanche, un participant qui estimerait systématiquement avoir mémorisé des items qu'il n'a pas mémorisé et inversement obtiendrait une corrélation négative de -1 et un *bias index* de 0 (voir Fig. 12, participant 2).

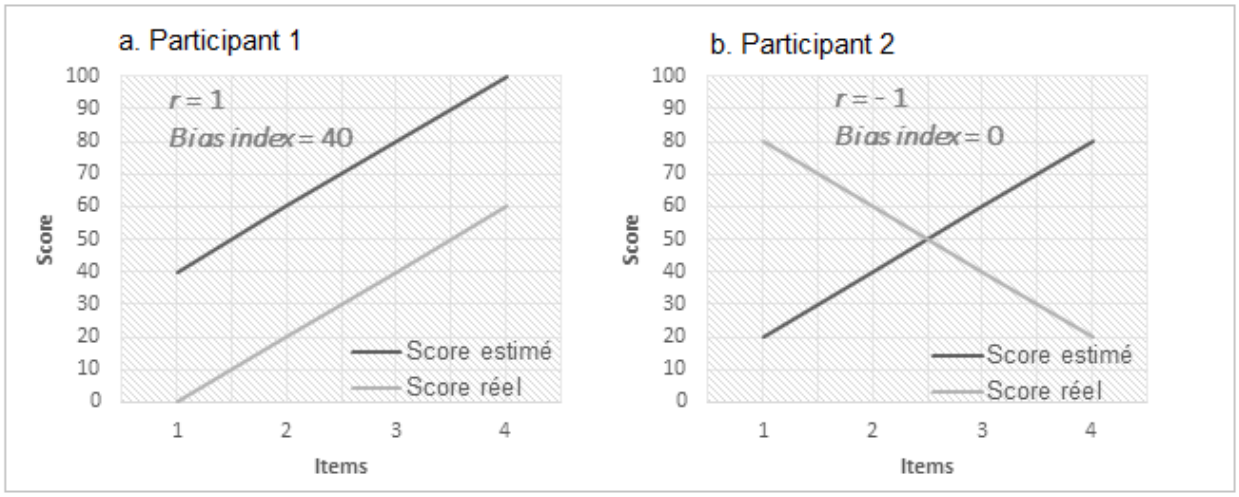


Fig. 12. Exemple fictif de deux participants obtenant des indices de précision absolue et relative différents.

L'utilisation de ces deux types d'indice nécessite d'interrompre régulièrement l'apprenant pendant la tâche afin de mesurer plusieurs micro-prédictions. Par conséquent, ces fréquentes interruptions pourraient dégrader la validité écologique de la situation expérimentale. De plus, de récentes recherches ont montré que demander à des participants d'effectuer des micro-prédictions durant une expérience aurait des effets sur l'apprentissage (Mitchum, Kelley, & Fox, 2016 ; Schnaubert & Bodemer, 2017 ; Soderstrom, Clark, Halamish, & Bjork, 2015). Par exemple, Soderstrom *et al.*, (2015) ont étudié si le fait de réaliser des JOL pendant la tâche influence la mémorisation de paires de mots. Dans cette étude, les participants avaient 8 secondes pour mémoriser chaque paire de mots. Durant ces 8 secondes, la moitié des participants devaient

estimer, sur une échelle de 0 à 100%, la probabilité qu'ils récupèrent la paire de mots à un test ultérieur. L'autre moitié des participants ne réalisaient aucun JOL durant ces 8 secondes. Un test de rappel indicé (seul un des deux mots de la paire était présenté) était ensuite proposé à l'ensemble des participants. Ces derniers devaient récupérer les mots associés aux mots présentés. Les résultats indiquent que les scores des participants au test de rappel étaient plus élevés lorsqu'ils réalisaient un JOL durant la phase d'encodage que lorsqu'ils n'en réalisaient pas. Selon les auteurs, produire un JOL durant une phase d'encodage renforcerait la trace mnésique de la paire mémorisée. Par ailleurs, Schnaubert et Bodmer (2017) ont montré que des participants qui effectuaient des JOL pendant une session d'apprentissage multimédia allouent plus de temps à une session de révision que lorsqu'ils n'en réalisent pas. En résumé, estimer ses performances d'apprentissage futures modifierait l'activité cognitive et métacognitive des participants. Aussi, afin d'améliorer la validité écologique, les chercheurs peuvent demander aux participants d'effectuer une seule macro-prédiction après la tâche. Contrairement aux micro-prédictions qui sont réalisées sur différentes parties du matériel, la macro-prédiction consiste à estimer sa performance future sur l'ensemble du matériel. L'écart entre la macro prédiction et la performance globale réelle constitue alors une mesure de la précision absolue du *monitoring*. Cependant, l'utilisation d'une seule macro-prédiction ne permet pas de mesurer la précision relative du *monitoring*. En revanche, elle présente l'avantage de ne pas interrompre l'apprentissage, ni d'influencer la mémorisation ou la régulation des participants.

4.2. Mesurer l'effet des tests sur l'AAR

La question de la mesure de l'AAR a été et reste encore débattue dans la littérature (e.g., voir Azevedo, 2015 ; Azevedo *et al.*, 2010 ; Greene & Azevedo, 2010 ; Greene, Dellinger, Tüysüzoğlu, & Costa, 2013 ; Schraw, 2010 ; Winne, 2011). La nature inobservable des processus métacognitifs au centre de l'AAR, ont amené les chercheurs à tenter d'inférer leur état à partir de nombreuses techniques (pour une revue sur ces techniques voir Huet & Mariné, 1998 ; Mariné & Huet, 1998 ; Rouet & Passerault, 1999). Deux types de mesures ont été classiquement distingués : les mesures dites *offline et* les mesures dites *online* (e.g., Winne & Perry, 2000 ; Zimmerman, 2008).

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Les mesures *offline* permettent d'évaluer les processus de l'AAR avant ou après la tâche d'apprentissage. Ces mesures prennent habituellement la forme de questionnaires ou d'entretiens. Les trois questionnaires les plus couramment utilisés pour évaluer l'AAR sont le *Learning And Study Strategy Inventory* (LASSI ; Weinstein, Schulte & Palmer, 1987), le *Motivated Strategy for Learning Questionnaire* (MSQL ; Pintrich & de Groot, 1990, pour une récente validation voir Tock & Moxley, 2017) et le *Metacognitive Awarness Inventory* (MAI ; Schraw & Dennison, 1994, pour une récente validation voir Harrison & Vallin, 2017). Les chercheurs ont fréquemment eu recours aux questionnaires, principalement en raison de la facilité à les utiliser sur des échantillons importants de participants (Cromley & Azevedo, 2011). Toutefois, comme l'ont souligné certaines études (DiFrancesca *et al.*, 2016 ; Veenman, 2011a ; Winne & Jamieson-Noel, 2002), ces outils mesureraient la *conception* qu'ont les étudiants de leur activité cognitive et métacognitive plutôt que leur réelle activité. En effet, Winne et Jamieson-Noel (2002) ont montré des différences importantes entre le comportement stratégique d'apprentissage rapporté par les étudiants et la réalité de ces comportements stratégiques. La difficulté des étudiants à décrire et estimer leur AAR peut s'expliquer de trois manières : 1) les jugements rapportés sont subjectifs ; 2) les participants doivent se souvenir, a posteriori, de l'ensemble des processus déployés au cours de la tâche et 3) les participants doivent fournir une estimation moyenne d'une activité continue et dynamique (pour une discussion sur ces points voir Azevedo *et al.*, 2010 ; Greene *et al.*, 2013 ; Mariné & Huet, 1998 ; Winne, 2010). Au vu de la difficulté à évaluer précisément les processus mis en jeu lors d'un AAR à partir de ce type d'outil, certains chercheurs ont préconisé de compléter l'utilisation des mesures *offline* par des mesures *online* moins sujettes aux biais de subjectivité et de remémoration (e.g., Ericsson, 2006 ; Greene, Bolick, & Robertson, 2010 ; Greene *et al.*, 2013 ; Veenman, 2013).

Les mesures *online* permettent d'évaluer les processus et leur déploiement en temps réel (voir Huet & Mariné, 1998 ; Rouet & Passerault, 1999). Ces mesures peuvent être obtenues à partir de différents outils tels que les protocoles verbaux (e.g., Greene et al., 2013 ; Pressley & Afflerbach, 1995) ou encore des dispositifs d'eye-tracking (e.g., Alamargot, Chesnet, Dansac & Ros, 2006 ; Frey, 2016 ; van Gog & Jarodzka, 2013). Une mesure de l'AAR régulièrement utilisée est le temps alloué par les participants au matériel à étudier ou aux parties de ce matériel

(e.g., texte, illustration). Toutefois, l'apprentissage de notions scientifiques complexes à partir de documents multimédias nécessite non seulement de prendre des décisions sur le temps d'étude que l'on souhaite allouer à cette activité mais également sur les différents types de processus et stratégies d'AAR à déployer (e.g., résumer l'information, s'auto-questionner, prendre des notes, relire, monitorer leur compréhension et leur utilisation de stratégie). Par conséquent, le temps d'étude ne peut pas constituer, à lui-seul, une mesure précise rendant compte de la complexité des processus d'AAR mis en jeu. Les protocoles verbaux constituent une autre méthode permettant d'évaluer, plus précisément et en temps réel, les différentes activités cognitives et métacognitives des apprenants (Azevedo, 2015 ; Ericsson & Simon, 1993 ; Pressley & Afflerbach, 1995). Le principe de ces protocoles verbaux consiste à demander aux participants de verbaliser à voix haute et en continu l'ensemble de leurs pensées durant la session d'apprentissage. Les différentes verbalisations sont ensuite segmentées et codées en fonction des activités cognitives ou métacognitives auxquelles elles font référence. Ce type de mesure permet de quantifier les activités de *monitoring* et les différentes stratégies utilisées pendant la tâche. Toutefois, les protocoles verbaux sont des méthodes coûteuses en temps et ont par ailleurs été critiqués pour leur caractère invasif. Cependant, des recherches ont montré que l'utilisation de ce type d'outil n'a pas d'impact sur les performances des participants (Bannert & Mengelkamp, 2008 ; Greene, Robertson, & Costa, 2011 ; Veenman, 2007) et constitue une mesure fiable de l'AAR (Greene *et al.*, 2013). Au cours de ces dix dernières années, les protocoles verbaux ont été de plus en plus utilisés, contribuant à améliorer notre compréhension des processus cognitifs et métacognitifs mis en jeu dans le traitement des documents multimédias (Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Cromley *et al.*, 2010a, 2010b ; Greene, Yu, & Copeland, 2014 ; Kühl *et al.*, 2011 ; Moos, 2014). De plus, l'utilisation de ces protocoles verbaux a permis de mieux comprendre les effets de différents dispositifs éducatifs tels que l'entraînement à l'AAR (Azevedo & Cromley, 2004), le tutorat par les pairs (De Backer, Van Keer, & Valcke, 2012), apprendre pour enseigner (Muis, Psaradellis, Chevrier, Di Leo, & Lajoie, 2016), ou encore les incitations stratégiques (Bannert, Sonnenberg, Mengelkamp, & Pieger, 2015). Par conséquent, les protocoles verbaux permettraient d'obtenir des données plus précises quant à l'effet des tests sur l'AAR et

d'expliquer plus précisément les mécanismes psychologiques sous-tendant l'effet indirect des tests.

Objectif de la thèse

Comprendre des notions scientifiques au sein d'un document multimédia nécessite d'activement sélectionner les informations pertinentes, de les organiser et de les intégrer avec les connaissances antérieures. Ces processus cognitifs sont mis en œuvre à partir de stratégies d'apprentissage dites de haut niveau. Or, il ressort des études précédemment décrites que, lors d'un travail en autonomie, certains apprenants utilisent des stratégies inadaptées pour atteindre cet objectif de compréhension (voir Chapitre 1). Ce déficit de production serait, au moins en partie, lié à un dysfonctionnement des processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* (voir Chapitre 2). Comme nous l'avons vu, ces processus sous-tendent la prise de décision à déployer des stratégies et pourraient être soutenus par l'utilisation de tests d'entraînement (voir Chapitre 3). Le développement des technologies numériques d'apprentissage a facilité, ces dernières années, le recours à ce type de tests. Les tests d'entraînement prennent souvent la forme de quiz dont le format des questions et les modalités de réponse sont très diversifiés. La recherche en psychologie de l'éducation s'accorde sur un effet bénéfique global de ces tests d'entraînement sur l'apprentissage. Toutefois, les conditions qui favorisent ces effets bénéfiques restent à préciser. En effet, certaines études n'ont pas mis en évidence d'amélioration des performances suite à l'utilisation de tests d'entraînement (e.g., Bol & Hacker, 2001 ; Maki & Serra, 1992 ; van Gog & Sweller, 2015). Aussi, la question reste posée de mieux comprendre les mécanismes cognitifs et métacognitifs sous-tendant les effets des tests (Dunlosky *et al.*, 2013 ; Pyc & Rawson, 2012).

Le premier objectif de cette thèse consiste à mieux comprendre le rôle des processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* lors de l'apprentissage d'un document multimédia ainsi que l'origine de leur dysfonctionnement. Plus précisément, il s'agit d'apporter des éléments de réponse aux cinq questions suivantes, initialement proposées par Koriat (2007) : Quels paramètres sont pris en compte pour élaborer un jugement métacognitif lors de l'apprentissage d'un document multimédia ? Quelle est la validité de ces jugements d'apprentissage ? Quels paramètres déterminent la qualité de ces jugements ? Comment les *outputs* du *monitoring* contribuent-ils à la régulation stratégique de l'apprentissage ? Comment les processus de

monitoring et de *control* influencent-ils les performances de mémorisation et de compréhension ? Pour répondre à ces questions, nous avons fait le choix d'utiliser les tests d'entraînement comme outils de recalibration du *monitoring*. Notre second objectif consiste alors à expliquer l'effet indirect des tests. Plus précisément, il s'agit de déterminer dans quelle mesure les processus métacognitifs de *monitoring* et *control* sont impliqués dans cet effet. Répondre à cette question permettra alors de spécifier les conditions qui favorisent l'efficacité des tests sur l'apprentissage d'un nouveau matériel. Nous formulons l'hypothèse générale selon laquelle l'effet indirect des tests sur les performances d'apprentissage s'expliquerait par un réajustement du *monitoring* qui déclencherait en retour une activité d'AAR plus adaptée aux exigences de la tâche. Afin d'évaluer précisément l'effet des tests sur l'AAR, nous avons combiné à la fois des mesures *offline* et *online*. Plus précisément, nous avons utilisé un protocole de verbalisation afin de recueillir, en temps réel, l'activité cognitive et métacognitive des étudiants. De plus, afin d'évaluer la précision du *monitoring*, nous avons calculé, pour chaque participant, deux *bias index :* un *bias index* visant à mesurer l'ajustement du JOL par rapport aux performances de mémorisation et un *bias index* visant à mesurer l'ajustement du JOL par rapport aux performances de compréhension. Par ailleurs, nous avons fait le choix de traiter nos questions de recherche à partir d'une situation plus écologique. À ce jour, la plupart des recherches qui ont étudié l'effet des tests sur l'apprentissage ont notamment eu recours à des tâches de mémorisation de mots. Or, ce type de tâche restreint considérablement les possibilités d'activité stratégique des apprenants et peut donc difficilement rendre compte du potentiel effet des tests sur l'AAR. Aussi, afin de maximiser les possibilités de déploiement de l'activité stratégique des participants, nous avons proposé une situation d'apprentissage plus écologique : un document multimédia portant sur des notions de neurosciences prévues au programme des étudiants.

L'expérience 1 vise à évaluer l'effet des tests d'entraînement sur l'ajustement du *monitoring* et sur les processus d'AAR. Dans cette expérience, la tâche des participants consistait à apprendre un document multimédia portant sur des notions de neurosciences. La moitié des participants recevait régulièrement des tests pendant la tâche d'apprentissage tandis que l'autre moitié des participants recevait les mêmes tests à la fin de l'apprentissage. Cette étude a un double objectif. Il s'agit de déterminer 1) si les performances des étudiants diffèrent

lorsque ces derniers sont ou non régulièrement testés durant la tâche et 2) si ces différences s'expliquent par un effet des tests sur l'AAR.

La précision du processus de *monitoring* est tributaire de la qualité des indices que l'apprenant utilise pour réaliser ses jugements (e.g., Glenberg *et al.*, 1987 ; Koriat, 1997 ; Thiede *et al.*, 2009). L'expérience 2 vise à déterminer si le degré de correspondance entre le niveau d'exigence des tests d'entraînement et celui de l'évaluation finale a un effet sur la précision du *monitoring* et sur l'efficacité de l'AAR. Pour ce faire, nous avons comparé trois groupes de participants : le premier groupe recevait régulièrement des tests d'entraînement dont le niveau d'exigence correspondait à celui de l'évaluation finale. Le second groupe de participants avait régulièrement des tests d'entraînement dont le niveau d'exigence était plus simple que celui de l'évaluation finale. Enfin, le troisième groupe ne recevait aucun test d'entraînement pendant l'apprentissage.

La capacité des apprenants à estimer précisément la qualité de leur apprentissage est une condition importante mais non suffisante pour un AAR efficace. En effet, lorsque le processus de *monitoring* détecte des difficultés de compréhension, le processus de *control* doit être en mesure de réajuster l'activité stratégique d'apprentissage (Ariel, 2013 ; Azevedo *et al.*, 2010 ; Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Nelson & Leonesio, 1988 ; Roelle, Schmidt, *et al.*, 2017 ; Thiede *et al.*, 2017). L'objectif de l'expérience 3 est d'étudier si la combinaison de tests d'entraînement et d'incitations stratégiques potentialise l'effet des tests sur l'AAR. Pour ce faire, quatre groupes de participants ont réalisé la tâche d'apprentissage. Chaque groupe bénéficiait soit de tests d'entraînement suivis d'incitations stratégiques, soit de tests d'entraînement sans incitations stratégiques, soit d'incitations stratégiques sans tests d'entraînement, soit ni l'un ni l'autre.

Enfin, dans la quatrième expérience, nous avons créé une interface de tests d'entraînement qui s'appuie sur les principes de conception déduits des résultats des expériences 1, 2 et 3. L'objectif de cette expérience consiste à évaluer l'effet de cette interface sur la précision du *monitoring*, de l'AAR et des performances d'apprentissage.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 4 – Expérience 1 : Etendre l'effet des tests à l'AAR[1]

L'analyse de la littérature précédemment réalisée révèle l'existence d'un effet direct des tests sur la mémorisation (Roediger & Kaprike, 2006). Par ailleurs, l'existence d'un effet indirect des tests a également été décrite dans la littérature (pour une revue voir Roediger *et al.* 2011). Plusieurs travaux ont, par exemple, montré que les tests facilitent le processus d'encodage lors de sessions de révision (e.g., Arnold & McDeremott, 2013 ; Izawa, 1971 ; Soderstrom & Bjork, 2014). Cet effet indirect a été mis en évidence, non seulement pour l'apprentissage de contenus auxquels les participants avaient déjà été exposés, mais également pour l'apprentissage de nouveaux contenus (Szpunar *et al.*, 2008 ; Wissman *et al.*, 2011). L'étude de Soderstrom et Bjork (2014) suggère que cet effet pourrait s'expliquer par une modification de l'AAR suite aux tests. En effet, ces auteurs ont indiqué que, lors d'une session de révision de liste de mots, les participants préalablement testés sur cette liste 1) allouaient plus de temps d'étude à encoder les mots et 2) déclaraient, à partir d'un questionnaire, utiliser plus de stratégies efficaces que des participants n'ayant pas été préalablement testés. Toutefois, la nature de la tâche (i.e., liste de mots) et les mesures utilisées (i.e., allocation du temps d'étude et questionnaire) ne permettent pas de saisir précisément le potentiel des tests à influencer l'AAR. De plus, les auteurs n'ont pas testé statistiquement la médiation des processus d'AAR pour expliquer l'effet facilitateur des tests sur l'apprentissage d'un nouveau contenu.

L'objectif de notre étude est de mieux comprendre les effets des tests sur l'AAR. Plus précisément, il s'agit de déterminer si utiliser des tests comme outils de réajustement du *monitoring* déclenche l'utilisation de processus d'AAR efficients sur un nouveau matériel et améliore ainsi les performances d'apprentissage des étudiants dans un environnement d'apprentissage écologique. Pour ce faire, nous avons proposé à des étudiants une session d'étude à partir d'un environnement numérique d'apprentissage (ENA). La tâche des participants consistait à apprendre en autonomie un cours de neurosciences. Afin d'évaluer l'effet des tests

[1] Fernandez J. & Jamet, E. (2017). Extending the testing effect to self-regulated learning, *Metacognition and Learning, 12*(2), 131-156. DOI: 10.1007/s11409-016-9163-9

sur l'AAR, nous avons comparé deux groupes de participants : un groupe avec quiz et un groupe contrôle (sans quiz). Durant la session d'apprentissage, les participants du groupe « avec quiz » devaient répondre à 6 questions à la fin de chacun des 8 chapitres de l'ENA. Les participants du groupe contrôle ne disposaient, quant à eux, d'aucun quiz pendant la session d'apprentissage. Afin de mesurer l'effet des quiz sur l'AAR, nous avons combiné un protocole de verbalisation à un questionnaire subjectif de jugement d'apprentissage. Le protocole de verbalisation permettait de mesurer le déploiement *online* des activités cognitives et métacognitives. Le questionnaire de jugement d'apprentissage permettait d'évaluer l'ajustement du *monitoring* des étudiants. Nous formulons l'hypothèse suivante : les quiz permettraient de diminuer la surestimation des étudiants et les conduiraient par conséquent à un réajustement de leur activité d'apprentissage. Ces modifications dans l'AAR devraient améliorer leur mémorisation et leur compréhension des informations contenues dans le multimédia.

1. Méthode

1.1. Participants

Trente-deux étudiants volontaires (27 femmes et 5 hommes) âgés en moyenne de 19,85 ans (*ET* = .89 ; étendue = 18-21 ans) ont participé à cette expérience. L'ensemble des participants était inscrit en première année universitaire de psychologie. Aucun des étudiants rencontrés n'avait redoublé sa première année ou eu auparavant d'enseignements en psychologie ou en neurosciences. Par ailleurs, les cours de neurosciences, prévus au programme de la première année, n'avaient pas encore été donnés au moment des passations expérimentales. Les participants étaient titulaires d'un baccalauréat à série économique et sociale (*n* = 15), littéraire (*n* = 9), scientifique (*n* = 4), ou professionnel (*n* = 4). La moitié des participants a été répartie aléatoirement dans le groupe « avec quiz » (*n* = 16) et l'autre moitié dans le groupe contrôle (*n* = 16). Aucun participant n'a été retiré de l'échantillon.

1.2. Matériel

1.2.1. Environnements d'apprentissage

Deux environnements d'apprentissage portant sur des notions de neurosciences ont été spécifiquement créés pour cette expérience : un module d'entraînement (voir Annexe 1) et

un ENA (voir Annexe 2). Le contenu scientifique de ces deux environnements d'apprentissage a été extrait du site libre de droit « le cerveau à tous les niveaux » (http://thebrain.mcgill.ca/, 15 juillet 2014) puis réécrit et mis en forme à l'aide du logiciel Articulate Storyline 2. La validité scientifique de ces deux environnements d'apprentissage a été vérifiée par une enseignante-chercheuse de neuropsychologie. Ces deux environnements d'apprentissage ont été présentés aux participants sur un écran iMac 27 pouces.

1.2.1.1. Module d'entraînement.

L'objectif du module d'entraînement était d'amener les participants à se familiariser et à automatiser l'activité de verbalisation avant de passer à l'ENA. La procédure d'entraînement à l'activité de verbalisation est décrite dans la partie protocole. Le module d'entraînement était un document multimédia portant sur l'influence des drogues sur le noyau accumbens et sur le rôle de cette structure cérébrale dans le circuit de récompense. Ce module était composé de cinq diapositives contenant un texte de 268 mots et de deux diagrammes explicatifs (voir Fig. 13). Chaque diapositive comprenait un bouton « Suivant » permettant aux participants de naviguer à leur rythme jusqu'à la fin du document.

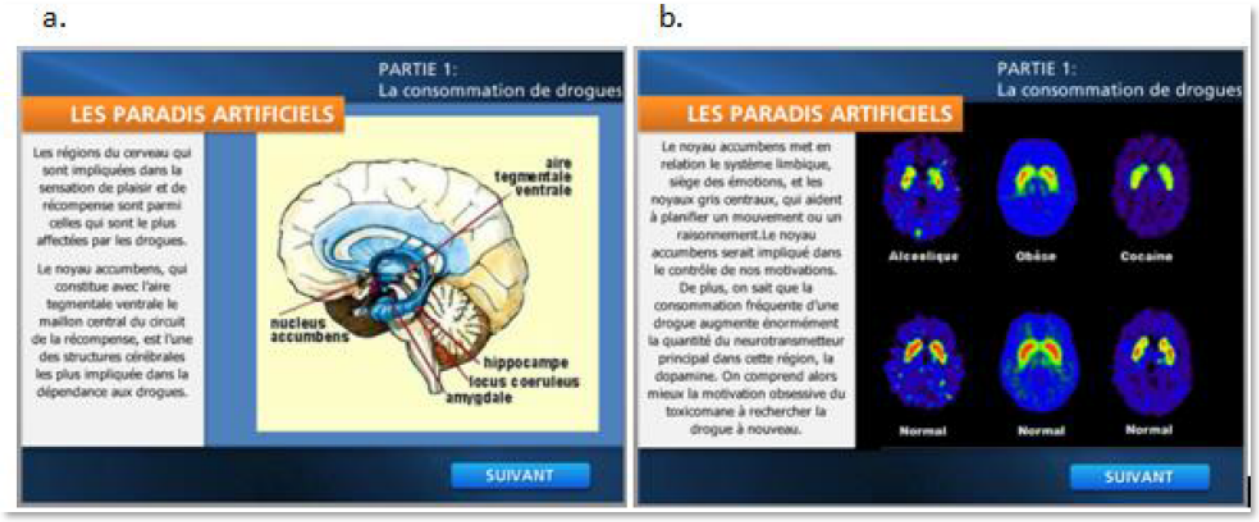


Fig. 13. Diapositives 3 (a.) et 4 (b.) du module d'entraînement.

1.2.1.2. Environnement numérique d'apprentissage.

Afin d'optimiser la validité écologique de l'expérience, nous avons construit un contenu en lien avec les futurs enseignements de neuropsychologie dispensés aux étudiants. Ainsi, l'ENA se présentait sous la forme d'un cours de neurosciences abordant des notions enseignées à partir du second semestre de la première année de psychologie. Ce cours était divisé en deux parties comprenant chacune quatre chapitres (voir Fig. 14 pour des exemples et Annexe 2 pour l'ENA complet). Chacun des huit chapitres contenait 273 mots et au moins un diagramme explicatif (2184 mots et 12 diagrammes au total). La première partie traitait du cerveau et de son fonctionnement neuronal normal. La deuxième partie portait sur les dysfonctionnements neuronaux observés dans la maladie d'Alzheimer.



Fig. 14. Extraits des chapitres 3 (a.), 4 (b.), 5 (c.) et 7 (d.) de l'ENA.

Les diagrammes comprenaient des outils interactifs incluant de nombreux pop-up et différentes animations activables par un clic des participants. L'ENA contenait également

une table des matières non interactive et donc purement consultative. Dans la mesure où l'objectif des différentes études était de comprendre l'effet de tests sur l'apprentissage de nouveaux matériels, les participants n'étaient pas autorisés à naviguer au sein des différents chapitres de l'ENA. En restreignant la navigation, nous souhaitions ainsi nous assurer qu'à la suite d'un quiz, les participants avaient, d'une part, seulement accès à un nouveau contenu pédagogique et étaient, d'autre part, tous confrontés au même matériel.

1.2.2. Conception des quiz et du questionnaire de mémorisation

1.2.2.1. Création, prétest et sélection des questions.

Un nombre important de questions a été créée afin de concevoir différents quiz et un questionnaire de mémorisation. Pour chaque phrase inscrite dans l'ENA, une question a été élaborée. Au total, 211 questions visant à mesurer les connaissances déclaratives des participants ont été construites (e.g., « *Comment se nomme la protéine qui maintient les microtubules droits ?*» ; « *Quel nom donne-t-on aux protéines bêta-sécrétase et gamma-sécrétase ?* »). Ces questions pouvaient porter soit sur le texte, soit sur les illustrations contenues dans l'ENA. Un prétest réalisé auprès de 11 volontaires a permis d'évaluer la qualité de ces différentes questions (i. e., leur clarté et leur capacité à discriminer les participants entre eux). Les volontaires avaient pour consigne d'apprendre les notions évoquées dans l'ENA. Ils devaient ensuite statuer sur la clarté de chaque question puis y répondre. Pour qu'une question soit conservée, elle devait satisfaire deux critères : être parfaitement comprise par l'ensemble des volontaires et permettre de discriminer les participants sur la qualité de leur mémorisation. Pour ce dernier critère, les questions recevant uniquement des bonnes ou mauvaises réponses étaient écartées. De cette façon, 73 questions ont été supprimées. Ainsi, nous disposions au total de 138 questions pour construire le questionnaire de mémorisation et les différents quiz.

1.2.2.2. Répartition des questions entre les quiz et le questionnaire de mémorisation.

Pour chacun des huit chapitres de l'ENA, douze questions ont été aléatoirement sélectionnées à partir des 138 préalablement créées (au total, 96 questions). Les douze questions retenues pour chaque chapitre étaient numérotées de 1 à 12. Les questions paires étaient utilisées pour la construction des quiz (voir Annexe 3). Huit quiz constitués chacun de six

questions ont ainsi été élaborés (deux portant sur les illustrations et quatre sur le texte, voir Fig. 15). Les questions impaires étaient utilisées pour la construction du questionnaire de mémorisation (voir Annexe 4). Ce dernier était composé de 48 questions (6 questions pour chacun des 8 chapitres ; 16 portant sur les illustrations et 32 sur le texte). Les questions des quiz et celles du questionnaire de mémorisation étaient différentes afin de limiter l'effet direct des quiz sur le score au questionnaire de mémorisation.



Fig. 15. Exemples de questions utilisées dans les quiz et portant soit sur du texte (gauche), soit sur une illustration (droite).

1.2.2.3. Modalités de réponse aux questions et *feedbacks*.

Les participants répondaient aux questions en entrant leur réponse dans le logiciel (voir la partie gauche de la Fig. 16). S'ils ne connaissaient pas la réponse, ils pouvaient cliquer sur le bouton « je ne sais pas » afin de passer à la question suivante. Une fois la réponse saisie, les participant devaient cliquer sur « valider ». L'un des trois *feedbacks* suivants leur était alors directement donné en fonction de l'exactitude de la réponse entrée (voir partie droite de la Fig. 16) :

- Bonne réponse : « Bien joué, vous avez entré la bonne réponse » ;
- Mauvaise réponse : « Vous avez entré la mauvaise réponse » ;
- Pas de réponse : « Vous n'avez pas entré de réponse ».

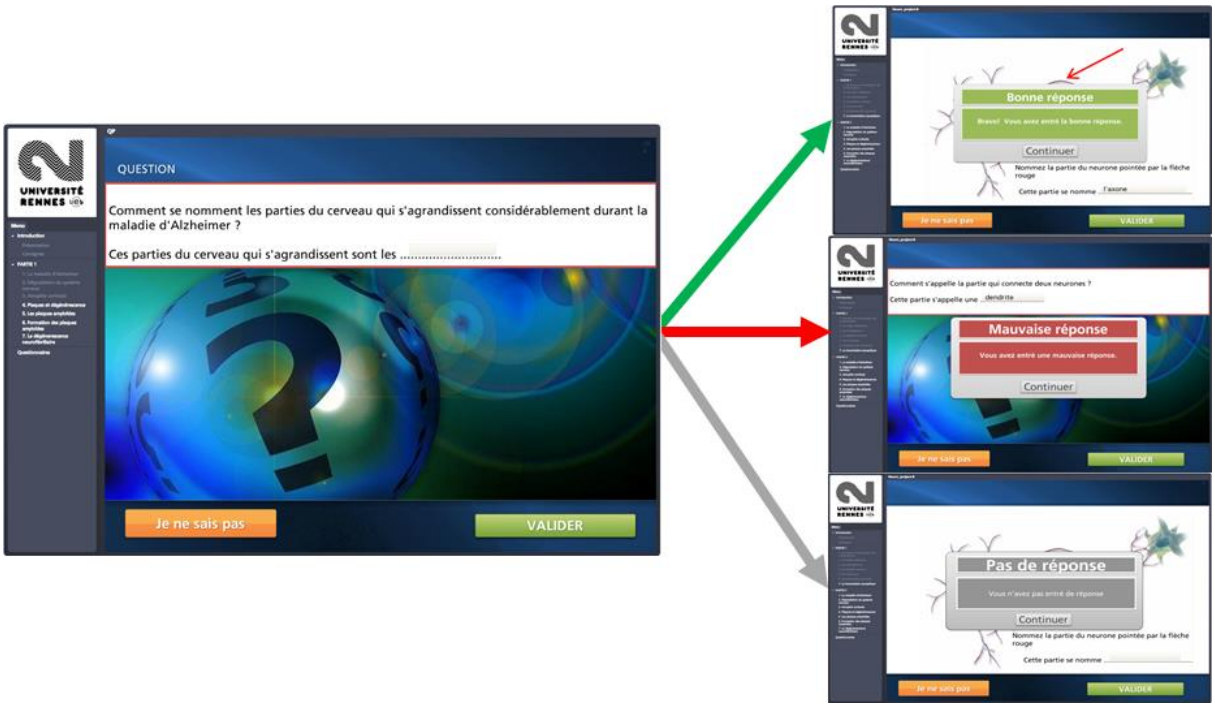


Fig. 16. Exemple de question de quiz avec les trois *feedbacks* possibles.

Ces *feedbacks* informaient donc les étudiants sur la justesse de leur réponse. En effet, dans la mesure où nos différentes expériences visent à étudier l'effet d'un réajustement du processus de *monitoring* par des quiz, nous souhaitions nous assurer que les étudiants ne s'appuyaient pas sur un *feedback* interne qui aurait pu être éventuellement incorrect. Les participants pouvaient ensuite cliquer sur le bouton « continuer » pour passer à l'étape suivante de l'ENA.

1.3. Mesures

Pour cette première expérience, différentes mesures ont été recueillies. Tout d'abord, les caractéristiques des participants ont été obtenues à partir d'un questionnaire descriptif au cours duquel il leur était demandé de préciser leur âge, leur sexe, la série de leur baccalauréat, leur année d'inscription, leur filière d'étude et s'ils avaient ou non redoublé. Un questionnaire d'évaluation des connaissances antérieures a également été présenté aux participants afin de s'assurer qu'ils étaient novices sur les notions dispensées par l'ENA (voir Annexe 5). Ce questionnaire était composé de cinq questions portant sur des notions de neurosciences enseignées en seconde année de psychologie (*e.g., « Comment se nomme la substance entourant*

l'axone et permettant une meilleure conduction électrique ? » ; « Que sont la sérotonine, la noradrénaline et le glutamate ? »).

La qualité de l'AAR des participants a été évaluée à partir de mesures *online* (protocole de verbalisation) et *offline* (questionnaire). La précision du *monitoring* métacognitif a été mesurée à partir d'une question de jugement d'apprentissage (mesure *offline*). Plus spécifiquement, à la fin de leur apprentissage, il était demandé aux participants d'estimer la note qu'ils obtiendraient à un futur examen portant sur les notions abordées dans l'ENA. Les participants devaient entrer la note estimée sur 20 dans le logiciel (voir Fig. 17).

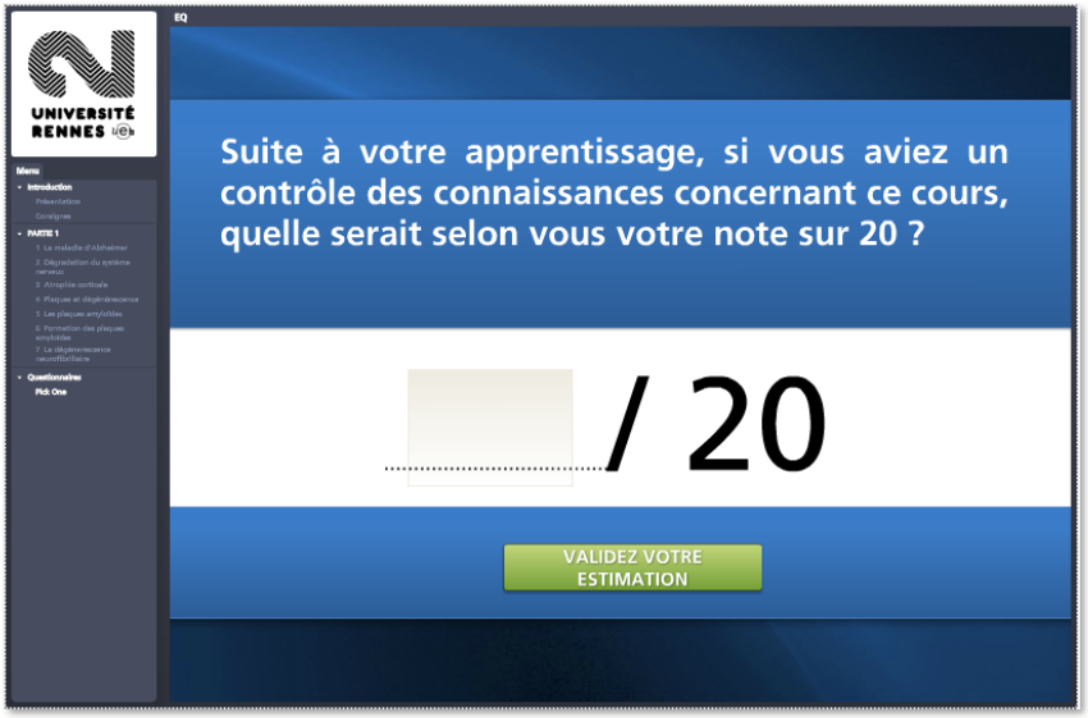


Fig. 17. Question de jugement d'apprentissage.

Les processus d'AAR déployés par les participants lors de leur apprentissage ont été recueillis à partir d'un protocole de verbalisation (Ericson & Simon, 1993 ; Pressley & Affelbach, 1995). Le principe de cette méthode *online* consiste à demander aux participants de verbaliser, de manière continue et à voix haute, l'ensemble de leurs pensées sans les expliquer. Cette méthodologie permet de capter, en temps réel, les états mentaux des participants. Elle offre ainsi une mesure précise des activités cognitive et métacognitive mises en œuvre au cours de

l'apprentissage (voir Azevedo, 2015 ; Azevedo *et al.*, 2010 ; Greene *et al.,* 2013). Les verbalisations des participants ainsi que le temps passé sur l'ENA ont été enregistrés avec le logiciel BB FlashBack.

Enfin, la qualité des modèles mentaux des participants a été mesurée à partir d'un questionnaire d'évaluation finale incluant le questionnaire de mémorisation précédemment décrit ainsi que six questions de transfert. Le questionnaire de mémorisation, composé de 48 questions (6 questions par chapitre), avait pour objectif d'évaluer la qualité de la mémorisation des participants. Une réponse correcte était cotée 1 alors qu'une réponse incorrecte ou « je ne sais pas » était cotée 0. Chaque participant pouvait donc avoir un score de mémorisation variant de 0 (aucune réponse correcte) à 48 (toutes les réponses sont correctes). Les participants devaient ensuite répondre à un questionnaire de transfert composé de six questions. Ces dernières nécessitaient, de la part de l'apprenant, de transférer ses connaissances à une nouvelle situation. Par conséquent, ces questions portaient sur des notions non abordées par l'ENA mais très proches de celles-ci. Par exemple, il était mentionné, dans le cours de neurosciences, que la bêta-amyloïde était issue de la protéine précurseur de l'amyloïde (PPA) suite à une action de découpage à deux endroits de la chaine d'acides aminés de la PPA par deux enzymes : la beta et la gamma sécrétase. Pour évaluer la compréhension des participants, la question de transfert portait sur des mécanismes biologiques similaires mais dans une autre situation : *« L'insuline, qui a entre autres un rôle essentiel dans la régulation du glucose dans le sang, est une hormone qui est fabriquée à partir de la pré-pro-insuline. La molécule pré-pro-insuline est découpée en deux temps par une molécule. D'après vous, quel type de molécule serait responsable de la transformation de la pré-pro-insuline en insuline ? ».* La bonne réponse à cette question était « enzyme ». Six questions de transfert ont ainsi été construites (voir Annexe 6). Une réponse correcte était cotée 1 alors qu'une réponse incorrecte ou « je ne sais pas » était cotée 0. Chaque participant pouvait donc avoir un score de compréhension variant de 0 (aucune réponse correcte) à 6 (toutes les réponses sont correctes).

1.4. Procédure

La procédure de l'expérience était inspirée de celles de récents travaux scientifiques utilisant les protocoles de verbalisation dans le cadre d'apprentissage sur documents

complexes (e.g., Azevedo & Cromley, 2004 ; Greene & Azevedo, 2007a, 2009 ; Greene *et al.,* 2015 ; Moos & Azevedo, 2008, 2009). Les participants, qui avaient préalablement été avertis que le temps de passation pouvait excéder deux heures, ont été reçus individuellement dans une salle expérimentale du laboratoire. Ils commençaient par répondre au questionnaire de connaissances antérieures. Le module d'entraînement leur était ensuite présenté. La consigne suivante était alors donnée aux participants : *« Nous voulons comprendre comment les étudiants apprennent des notions scientifiques complexes dans un environnement numérique d'apprentissage. Votre tâche sera d'apprendre, comme si vous révisiez pour un examen, un cours de neurosciences portant sur des notions qui vous seront enseignées au cours de votre seconde année. Pour bien comprendre comment les étudiants apprennent à partir de ce type de document, vous devrez verbaliser, à voix haute et de manière continue, l'ensemble de vos pensées durant votre apprentissage. Vous n'aurez ni besoin de les expliquer, ni de vous inquiéter de savoir si elles ont du sens. Afin de vous familiariser avec cette activité, nous allons débuter par un entraînement ».* Une fois que l'expérimentateur s'était assuré que les participants avaient compris la consigne, le module d'entraînement débutait. Au cours de cet entraînement, l'expérimentateur contrôlait que les participants verbalisaient leurs pensées en continu sans jamais les expliquer (Bannert & Mengelkamp, 2008 ; Ericsson, 2006). L'entraînement était divisé en deux parties. Durant la première partie, l'expérimentateur interagissait activement avec les participants afin de les amener à verbaliser leurs pensées en continu et sans les expliquer. Au cours de la seconde partie, l'expérimentateur n'interagissait plus avec les participants afin de les laisser automatiser la procédure. Si toutefois ces derniers arrêtaient de verbaliser pendant plus de 5 secondes, il leur était rappelé de penser à voix haute. De même, s'ils expliquaient leur pensée, il leur était rappelé que cela n'était pas nécessaire.

A la fin de l'entraînement, l'ENA était proposé aux participants. La tâche leur était présentée comme suit : *« A présent, vous allez travailler sur un environnement numérique d'apprentissage portant sur un sujet de neurosciences qui vous sera enseigné en seconde année de votre cursus. Cet ENA traite, dans une première partie, du fonctionnement normal du cerveau. La seconde partie aborde les dysfonctionnements neuronaux chez des personnes présentant des démences de type Alzheimer. Votre objectif est d'apprendre les notions présentées dans cet*

ENA comme si vous les révisiez pour vos examens. Lorsque vous aurez terminé, vous devrez répondre à un questionnaire visant à évaluer ce que vous avez appris. Vous disposez d'autant de temps que vous le voulez et vous pouvez, si vous le souhaitez, prendre des notes durant votre apprentissage. Je vous rappelle que vous devez, tout au long de l'apprentissage, verbaliser à voix haute l'ensemble de vos pensées, comme vous venez de le faire au cours de l'entraînement ». Après s'être assuré que les participants avaient bien compris la consigne, l'expérimentateur démarrait le logiciel BB FlashBack afin d'enregistrer les verbalisations. Durant la session d'apprentissage, l'expérimentateur n'intervenait pas sauf si les participants arrêtaient de verbaliser leurs pensées pendant plus de 5 secondes ou s'ils les expliquaient. L'expérimentateur rappelait alors aux participants de verbaliser leurs pensées à voix haute ou de ne pas les expliquer. Au cours de cette expérience, il n'est jamais intervenu pour la moitié des participants et pas plus de deux fois par participant pour l'autre moitié.

Les participants ont été aléatoirement répartis dans l'une des deux conditions expérimentales (groupe avec quiz ou groupe contrôle ; voir Fig. 18 pour un résumé du protocole expérimental). Dans la condition « avec quiz », un test d'entraînement était présenté aux participants à la fin de chaque chapitre de l'ENA. Ceux-ci devaient alors répondre aux six questions du quiz avant de passer au chapitre suivant. Au total, huit quiz ont ainsi été proposés aux participants du groupe « avec quiz » au cours de la session d'apprentissage. Les participants du groupe contrôle n'ont reçu aucun quiz pendant la session d'apprentissage. Toutefois, les huit quiz leur étaient présentés après qu'ils aient répondu à la question de jugement d'apprentissage. Par conséquent, l'ensemble des participants était exposé à la même information avant de répondre au questionnaire d'évaluation finale. Cette précaution permettait de contrôler un potentiel effet direct des tests dans les deux groupes. En effet, l'utilisation de tests peut renforcer la trace mnésique de l'ensemble des informations associées aux différentes réponses du test et ce, même si ces informations ne sont pas directement testées (Chan, 2010 ; Chan, McDermott, & Roediger, 2006). En d'autres termes, les quiz pourraient avoir un effet direct sur les performances obtenues au questionnaire de mémorisation, bien que les questions des quiz et celles du questionnaire de mémorisation soient différentes. Le fait de donner les mêmes quiz aux deux groupes limite donc la possibilité d'obtenir des différences entre les deux groupes résultant d'un effet direct

des quiz. Par ailleurs, les processus cognitifs et métacognitifs déployés par les participants du groupe contrôle au cours de la session d'apprentissage ne pouvaient pas être influencés par les quiz étant donné que ces derniers étaient présentés après celle-ci.

À la fin de la session d'apprentissage, les participants répondaient à la question de jugement d'apprentissage. Le questionnaire d'évaluation finale, composé du questionnaire de mémorisation et du questionnaire de transfert, leur était ensuite présenté. Enfin, les participants répondaient au questionnaire descriptif. Aucune contrainte de temps n'était imposée aux participants pour remplir ces différents questionnaires. À la fin de la passation, un entretien de 30 à 60 minutes était réalisé avec chaque participant. Au cours de cet entretien, les objectifs de l'expérience étaient expliqués aux participants. Par ailleurs, l'expérimentateur échangeait avec les étudiants sur l'importance des processus de l'AAR et les conseillait sur comment mener à bien un apprentissage en milieu universitaire. L'expérience durait en moyenne 2 heures par participant.

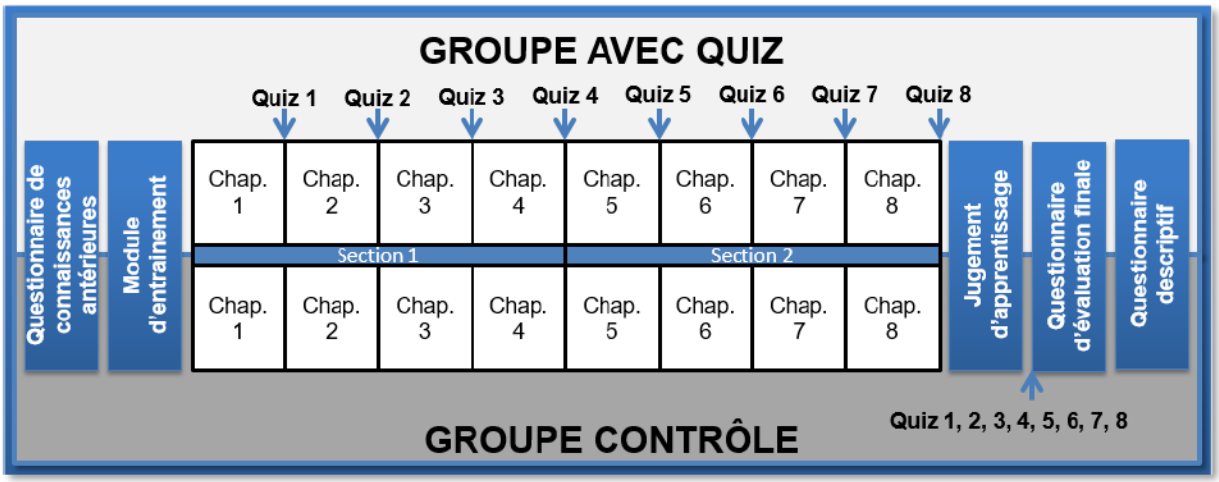


Fig. 18. Protocole expérimental pour les groupes « avec quiz » (en haut) et contrôle (en bas).

1.5. Préparation des données

1.5.1. Calcul de l'indice d'ajustement du monitoring.

Afin d'évaluer la précision du *monitoring*, nous avons calculé, pour chaque participant, deux indices d'ajustement (*bias index* en anglais). Le premier (*bias index* mémorisation) correspondait à la différence entre la performance d'apprentissage estimée par l'étudiant

au questionnaire de jugement d'apprentissage et sa performance réelle au questionnaire de mémorisation (préalablement convertie en une note sur 20). Le second (*bias index* transfert) correspondait à la différence entre la performance d'apprentissage estimée par l'étudiant au questionnaire de jugement d'apprentissage et sa performance réelle au questionnaire de transfert (préalablement convertie en une note sur 20). Le calcul de ces indices d'ajustement visait à déterminer dans quelle mesure la performance que l'étudiant estimait obtenir était proche de sa performance réelle. Plus le *bias index* est proche de zéro, plus il indique un ajustement parfait au processus de *monitoring* (voir Schraw, 2009). En revanche, un indice négatif traduit une sous-estimation de la performance alors qu'un indice positif indique une surestimation de la performance.

1.5.2. Codage des processus d'AAR.

Afin de coder les verbalisations des participants, nous avons utilisé une grille de codage adaptée de celle initialement développée par Azevedo et ses collaborateurs (Azevedo & Cromley, 2004 ; Greene & Azevedo, 2007a, 2009 ; Moos & Azevedo, 2008, 2009). Cette grille de codage, conçue sur les bases de la théorie de l'AAR (Muis, 2007 ; Pintrich, 2000 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013 ; Winne & Perry, 2000 ; Zimmerman, 2000), a été utilisée dans de nombreuses études visant à mieux comprendre le rôle des processus d'AAR sur l'apprentissage (e.g., Azevedo & Cromley, 2004 ; Bannert *et al.*, 2014 ; Cromley *et al.*, 2010a ; Dinsmore & Alexander, 2015 ; Greene & Azevedo, 2007a, 2009 ; Moos, 2014 ; Moos & Azevedo, 2008, 2009 ; Muis *et al.*, 2016). La grille initiale d'Azevedo et collaborateurs distingue cinq macroprocessus d'AAR (planification, *monitoring*, utilisation de stratégies, gestion de la difficulté de la tâche et des demandes, et intérêts) et trente-trois microprocessus (voir Azevedo & Cromley, 2004). Notre grille était composée de dix-neuf microprocessus d'AAR appartenant aux macroprocessus de *monitoring* et utilisation de stratégies (voir Tableau 1).

Pour cette première étude, 1490 minutes (24.83 heures) de verbalisation ont été segmentées et codées. Un segment correspond à un mot ou un groupe de mots représentant un micro processus d'AAR. Par exemple, si un participant verbalisait « *Je comprends finalement l'origine de la dégénération neurofibrillaire. Ça vient du fait que la protéine TAU ne maintient plus*

les microtubules en place », nous codions deux segments distincts. Le premier segment : « *Je comprends finalement l'origine de la dégénération neurofibrillaire* » était codé comme un jugement d'apprentissage (JOL). Le second segment : *« Ça vient du fait que la protéine TAU ne maintient plus les microtubules en place* » était codé comme un résumé (SUM) puisque le participant reformulait avec ses propres mots une partie de l'information contenue dans l'ENA (voir Tableau 1 pour plus d'exemples). En procédant ainsi, un total de 9613 microprocessus a été codé à partir du logiciel Noldus Observer XT pour les 32 participants (*M* = 300.41, *SD* = 172.19). Afin d'assurer la validité du codage, un ingénieur d'études a réalisé le double codage sur 41,50% des segments initialement codés (soit 3989 microprocessus d'AAR). L'accord inter-juge était de 94,11% (soit un accord entre l'expérimentateur et le double codeur sur 3754 segments). Les conflits étaient résolus lors de discussions. Une fois tous les segments codés, ceux appartenant à la même catégorie de microprocessus ont été additionnés pour chaque participant. Enfin, nous avons retiré des analyses les microprocessus qui ont été peu utilisés par les participants (en moyenne inférieure à deux occurrences durant toute la passation). Au total, les six microprocessus suivants ont été supprimés : le sentiment de savoir, les jugements d'intérêt, l'évaluation du contenu, la difficulté de la tâche, l'auto-questionnement et l'activation des connaissances antérieures.

Tableau 1. Grille de codage des processus d'AAR.

Processus d'AAR	**Description**	**Exemple**
macroprocessus: Monitoring		
Jugement d'apprentissage	L'apprenant effectue un jugement sur la qualité de son apprentissage	"Je ne comprends pas ce qu'est un enzyme"
Monitoring de l'utilisation de stratégie	Commentaire sur l'utilité d'une stratégie ou de la qualité de son utilisation	"Je devrais arrêter de prendre des notes, cela me prend trop de temps"
Monitoring bref	L'apprenant vérifie brièvement l'état de sa compréhension	[l'apprenant lit le texte] "… Ok"

Sentiment de savoir[a]	L'apprenant déclare qu'il ou elle a le sentiment de connaitre l'information	" Je suis sûr d'avoir vu cela quelque part …"
Jugement d'intérêt[a]	L'apprenant fait état de son intérêt ou de son ennui	"Waouh! Ce module de neuroscience est extraordinaire !"
Évaluation du contenu[a]	L'apprenant commente la qualité de l'environnement d'apprentissage	"C'est vraiment bien expliqué !"
Difficulté de la tâche[a]	L'apprenant fait état de la facilité ou de la difficulté à apprendre le document	"C'est tellement facile!"
Macroprocessus: Stratégies d'apprentissage		
Résumé	L'apprenant résume une information lue ou inspectée dans l'ENA	"Ah… donc en fait, ça décrit deux enzymes, la première, la bêta-sécrétase découpe l'APP à l'extérieur de la membrane alors que la seconde, la gamma sécrétase le coupe à l'intérieur du neurone.
Construction de connaissances	L'apprenant intègre les informations qui viennent d'être lues ou vues aux informations préalablement traitées	[L'apprenant lit la définition d'un ventricule] "Donc ces deux parties sur le schéma correspondent à des cavités remplies de fluide. "
Inférence	L'apprenant déduit des informations non explicitement présentes dans le document.	"L'élargissement du ventricule doit sûrement provoquer une réduction de la matière grise."
Coordination des sources d'informations	L'apprenant met en lien les informations du texte aux informations du schéma	[L'apprenant s'arrête pendant sa lecture du texte] "Donc, le cortex occipital est ici"

Auto-questionnement[a]	L'apprenant formule une question sur ce qui vient d'être vu ou lu	"Alors c'est quoi un neurotransmetteur ?"
Dessin	L'apprenant représente l'information sous forme de schéma ou dessin	[L'apprenant réalise une carte conceptuelle]
Prise de notes	L'apprenant note des informations	[L'apprenant copie du texte]
Activation des connaissances antérieures[a]	L'apprenant met en lien l'information vue ou lue avec des connaissances antérieures	"Je me souviens avoir étudié ça au lycée"
Contrôle d'animation	L'apprenant clique sur une animation plus d'une fois	[L'apprenant clique sur une animation]
Lecture des notes	L'apprenant lit ses prises de notes	[L'apprenant lit une information qu'il ou elle a noté préalablement]
Mémorisation	L'apprenant utilise une stratégie de répétition pour encoder l'information	"Protéine Tau… Protéine Tau … Protéine Tau …"
Relecture	L'apprenant relit une phrase préalablement lue	[L'apprenant lit une phrase qui a déjà été lue]

[a] = microprocessus supprimés des analyses

1.6. Analyse des données

Les *bias index*, le temps alloué à l'apprentissage et les performances obtenues par les deux groupes expérimentaux au questionnaire de mémorisation ont été comparés à partir d'un test de *t* de Student. Pour ces trois analyses, les tests de Shapiro-Wilk et de Levene ont confirmé que les conditions de normalité et d'homoscédasticité des distributions des résidus étaient respectées (le test de Shapiro-Wilk a été systématiquement confirmé par une inspection des Q-Q plot). En revanche, les indices bayésiens d'ajustement AIC et BIC ont révélé que les performances obtenues au questionnaire de transfert étaient mieux modélisées par une loi Poisson que par une loi normale. Aussi, un test de rapport de vraisemblance (en anglais *likelihood-ratio*, *LR*) a

été réalisé afin de comparer la qualité d'ajustement des données au modèle nul (aucun effet des quiz) avec la qualité d'ajustement des données au modèle alternatif (effet des quiz).

Les données obtenues à partir du protocole de verbalisations sont des données de comptage d'événements et sont mieux modélisées par une distribution Poisson ou une distribution binomiale négative que par une distribution normale (pour une revue sur la modélisation des processus d'AAR recueillis avec un protocole de verbalisation, voir Greene, Costa, & Dellinger, 2011). Les modèles Poisson et binomiale négative appartiennent à la même famille de régression. La différence entre ces deux types de régressions se situe sur le nombre de paramètres estimés. La régression Poisson s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle la variance et la moyenne sont égales et estime en conséquence un seul paramètre. La régression binomiale négative, quant à elle, estime séparément la moyenne et la variance. Par conséquent, lorsque la variance des résidus est supérieure à la moyenne, la régression binomiale négative est plus adaptée pour modéliser les données. Dans cette étude, pour la distribution du nombre d'utilisations de chacun des microprocessus, la variance était systématiquement supérieure à la moyenne. Ces données descriptives suggèrent que la régression binomiale négative était plus appropriée. Les indices AIC et BIC ont effectivement révélé un meilleur ajustement des données lorsque celles-ci sont modélisées via la loi binomiale négative que lorsqu'elles sont modélisées via la loi normale ou via un autre modèle de comptage (i.e., Poisson, *zero-inflated Poisson*, *zero-inflated negative binomial*). Des tests de rapport de vraisemblance ont été réalisés afin de déterminer si le nombre de microprocessus utilisés différait entre les deux groupes.

Afin d'évaluer si la relation entre la présence de quiz et les performances à l'évaluation finale était médiatisée par l'utilisation des processus efficients d'AAR, nous avons effectué une analyse de médiation. Pour ce faire, les différents effets indirects ont été estimés par une procédure de *bootstrapping* (voir Preacher & Hayes, 2004). Cette méthode s'appuie sur un test non paramétrique et ne nécessite pas que les données soient normalement distribuées. Par ailleurs, cette procédure peut être réalisée sur un petit échantillon. L'effet indirect estimé est associé à un intervalle de confiance de 95 %, permettant de statuer ou non sur le rejet de l'hypothèse nulle. En effet, si la valeur 0 n'est pas incluse dans l'intervalle de confiance, l'effet indirect estimé est significativement différent de 0 a un seuil $p < .05$ (Preacher & Hayes,

2004). Les analyses de médiation ont été réalisées à partir de la macro PROCESS développée par Hayes (2013) pour SPSS. Toutes les autres analyses ont été réalisées à partir du logiciel R.

2. Résultats

2.1. Questionnaire de connaissances antérieures

Afin de nous assurer que les participants des deux groupes ne se distinguent pas quant à leurs connaissances préalables en neurosciences, nous avons comparé leurs scores obtenus au questionnaire de connaissances antérieures à partir d'un test de *t* de Student. L'analyse ne révèle aucune différence significative entre les performances des participants du groupe quiz (M = 0.38, SD = 0.62) et celles des participants du groupe contrôle (M = 0.31, SD = 0.60), $t(30) = 0.289$, p = .774.

2.2. Effets des quiz sur les performances d'apprentissage

Afin d'évaluer l'effet des quiz sur les performances d'apprentissage, nous avons, dans un premier temps, comparé la moyenne des scores au questionnaire de mémorisation du groupe avec quiz à celle du groupe contrôle à partir d'un test *t* de Student unilatéral (voir Fig. 19.). Comme nous nous y attendions, les participants du groupe avec quiz (M = 28.06, SD = 8.76) présentent de meilleurs scores de mémorisation que ceux du groupe contrôle (M = 20.12, SD = 8.80), $t(30) = 2.557$, p = .008, η^2p = .174. Dans un second temps, la moyenne des scores au questionnaire de transfert du groupe avec quiz a été comparée à celle du groupe contrôle à partir d'un test de rapport de vraisemblance. L'analyse ne révèle pas de différence dans les scores obtenus au questionnaire de transfert entre le groupe avec quiz (M = 1.56, SD = 1.71) et le groupe contrôle (M = 1.44, SD = 1.26), LR = 0.083, p = .772.

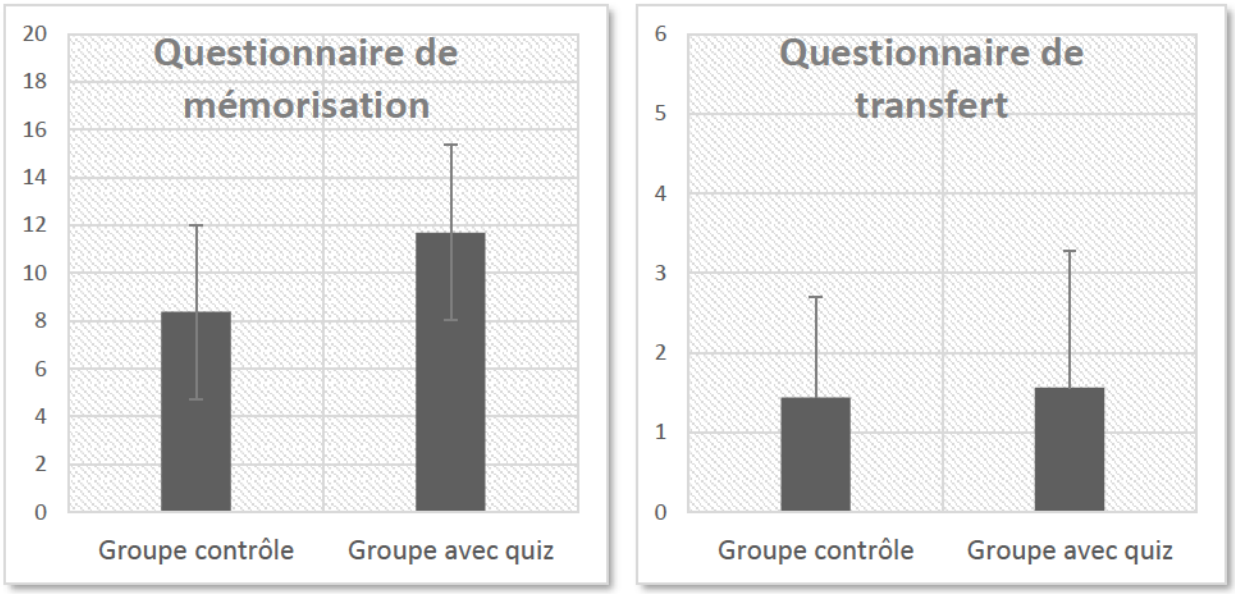


Fig. 19. Moyennes des scores obtenus aux questionnaires de mémorisation et de transfert et écarts-types pour chaque groupe expérimental (« avec quiz » et contrôle).

2.3. Effet des quiz sur l'ajustement du *monitoring*

- *Bias index* mémorisation

Concernant l'ajustement du *monitoring* aux performances de mémorisation, un test de *t* de Student pour échantillons uniques a été réalisé afin d'observer si le *bias index* mémorisation calculé pour chacun des groupes se différencie significativement de la valeur référence zéro. Conformément à nos attentes, l'analyse montre que le *bias index* des participants du groupe contrôle est significativement supérieur à 0, $M = 3.33$, $SD = 3.88$, $t(15) = 3.43$, $p = .004$. Ce résultat signifie que les participants qui ne reçoivent pas de quiz régulièrement pendant la session d'apprentissage surestiment significativement leur performance au questionnaire final de mémorisation. En revanche, le *bias index* du groupe « avec quiz » ne se différencie pas significativement de zéro, $M = -1.35$, $SD = 3.44$, $t(15) = -1.57$, $p = .14$, ce qui témoigne d'un meilleur ajustement du *monitoring* dans ce groupe. De plus, nous avons comparé les *bias index* des deux groupes à partir d'un test de *t* de Student pour échantillons appariés. Ce test révèle une différence significative entre les *bias index* mémorisation du groupe contrôle et ceux du groupe « avec quiz », ce qui confirme l'effet des quiz sur l'ajustement du processus de *monitoring*, $t(30) = 3.633$, $p < .001$, $\eta^2 p = .298$ (voir Fig. 20.).

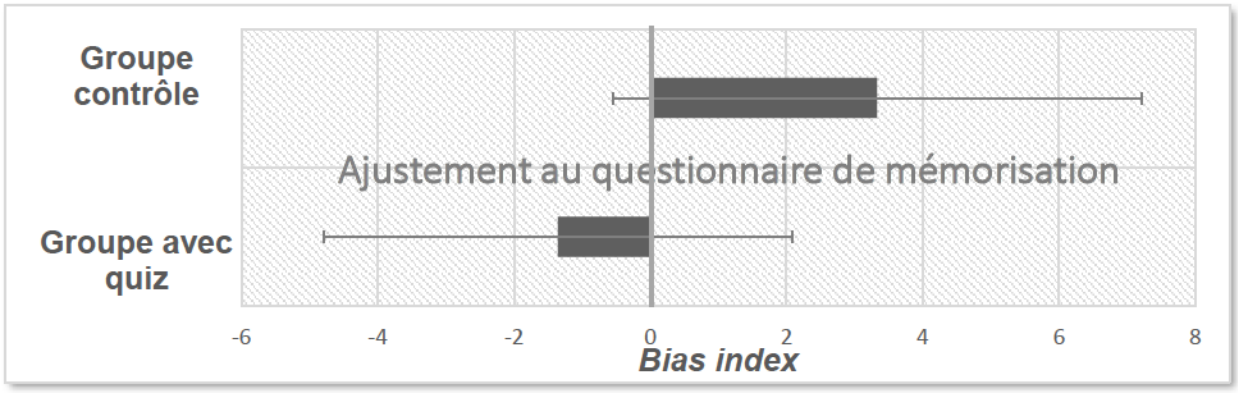


Fig. 20. Moyennes et écarts-types des *bias index* mémorisation pour chacun des groupes (avec quiz ou contrôle).

- *Bias index* transfert

Concernant l'ajustement du *monitoring* aux performances de transfert, l'analyse révèle que les groupes « avec quiz », $M = 5.55$, $SD = 4.45$, $t(15) = 4.991$, $p < .001$ et le groupe cotnrôle, $M = 6.55$, $SD = 6.25$, $t(15) = 4.164$, $p = .001$, présentent un *bias index* transfert significativement supérieur à zéro, ce qui traduit une surestimation de leur capacité à réussir à répondre au questionnaire de transfert. De plus, le test *t* de Student pour échantillons appariés indique que les *bias index* transfert des deux groupes ne se différencient pas entre eux, $t(30) = 0.499$, $p = .622$ (voir Fig. 21). En résumé, ces différents résultats suggèrent que les étudiants qui ont bénéficié de quiz au cours de la session d'apprentissage ont réajusté leur *monitoring* sur la base de critères de mémorisation plutôt que de compréhension.

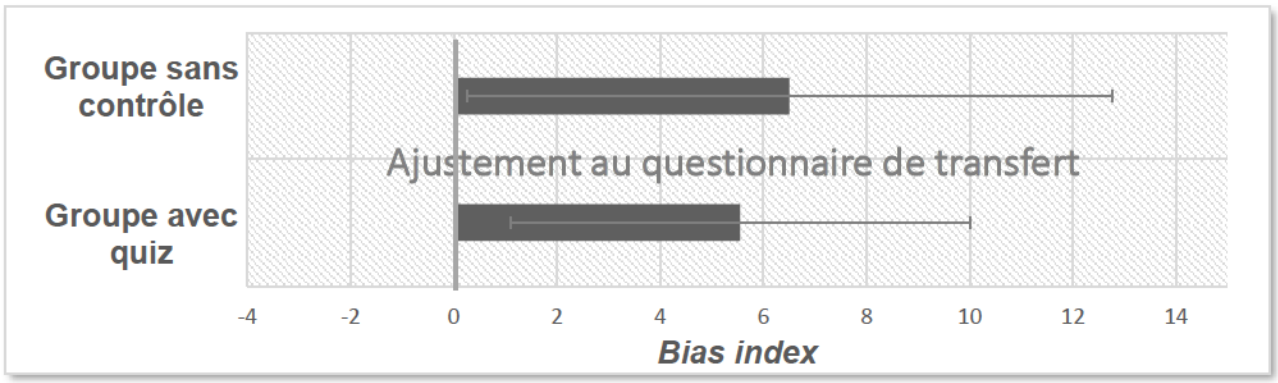


Fig. 21. Moyennes et écarts-types des *bias index* transfert pour chacun des groupes (avec quiz ou contrôle).

2.4. Identification des processus d'AAR efficients

Afin d'identifier les processus efficients d'AAR, une corrélation de Pearson a été réalisée entre le nombre d'utilisations de chaque processus et les scores obtenus aux questionnaires de mémorisation et de transfert (voir Tableau 2). Cette analyse révèle que sept processus sont significativement liés au score obtenu au questionnaire de mémorisation. Parmi ces sept processus, trois sont des microprocessus de *monitoring* : jugement d'apprentissage, *Monitoring* de l'utilisation de stratégie et *monitoring* brefs ; et quatre sont des stratégies de haut niveau : résumés, construction de connaissances, inférences et coordinations des sources d'informations. Par ailleurs, l'utilisation de *monitoring* brefs, de résumés, de constructions de connaissances, d'inférences et de coordinations des sources d'informations est significativement liée au score obtenu au questionnaire de transfert.

Tableau 2. Corrélations entre les processus d'AAR et les scores obtenus aux questionnaires de mémorisation et de transfert.

	Mémorisation	Transfert
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	.67**	.29
Monitoring de l'utilisation de stratégie	.65**	.20
Monitoring bref	.52**	.38*
Utilisation de stratégie		
Résumé	.81**	.47**
Construction de connaissances	.74**	.25
Inférence	.59**	.40*
Coordination des sources d'informations	.57**	.38*
Prise de notes	.34	.06
Contrôle des animations	-.26	-.16
Lecture de notes	.17	.01
Mémorisation	.23	.00
Relecture	-.01	-.14
Total AAR	.77**	.63**

* $p < .05$. ** $p < .01$.

2.5. Effet des quiz sur les processus d'AAR

Concernant le temps alloué au document, le *t* de Student ne révèle aucune différence significative entre le groupe « avec quiz » (*M* = 45.44 min, *SD* = 17.52) et le groupe contrôle (*M* = 45.80 min, *SD* = 15.72, *t(30)* = .003, *p* = .951. Concernant les processus d'AAR, l'analyse montre que les étudiants bénéficiant des quiz durant l'apprentissage réalisent plus de *monitoring* sur l'efficacité des stratégies que le groupe contrôle (*LR* = 4.870, *p* = .027). Par ailleurs, une différence tendanciellement significative entre le groupe « avec quiz » et le groupe contrôle est observée pour les jugements d'apprentissage (*LR* = 3.044, *p* = .081), les résumés (*LR* = 3.156, *p* = .075)

et la construction de connaissances (*LR* = 2.756, *p* = .097). Aucune autre différence significative n'est révélée par l'analyse (voir Tableau 3 pour les statistiques descriptives).

Tableau 3. Moyennes et écart-types *(SD)* pour l'utilisation des processus d'AAR pour chaque groupe.

	Groupe avec quiz Moyenne *(SD)*	Groupe contrôle Moyenne *(SD)*
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	15.75 *(16.69)*	6.81 *(7.93)*
Monitoring de l'utilisation de stratégie	14.19 *(16.26)*	4.56 *(8.14)*
Monitoring bref	48.63 *(38.35)*	27.75 *(38.93)*
Utilisation de stratégie		
Résumé	34.69 (*37.24*)	13.87 *(18.59)*
Construction de connaissances	12.81 *(12.97)*	6.44 *(6.62)*
Inférence	7.44 *(9.24)*	4.56 *(8.65)*
Coordination des sources d'informations	7.44 *(5.61)*	6.37 *(5.25)*
Prise de notes	52.37 *(42.99)*	50.05 *(31.37)*
Contrôle des animations	12.56 *(8.58)*	18.75 *(15.38)*
Lecture de notes	16.06 *(29.29)*	7.75 *(14.93)*
Mémorisation	5.81 *(11.69)*	4.75 *(12.13)*
Relecture	45.81 *(28.58)*	56.94 *(44.94)*
Total AAR	241.12 *(132.48)*	196.12 *(95.28)*

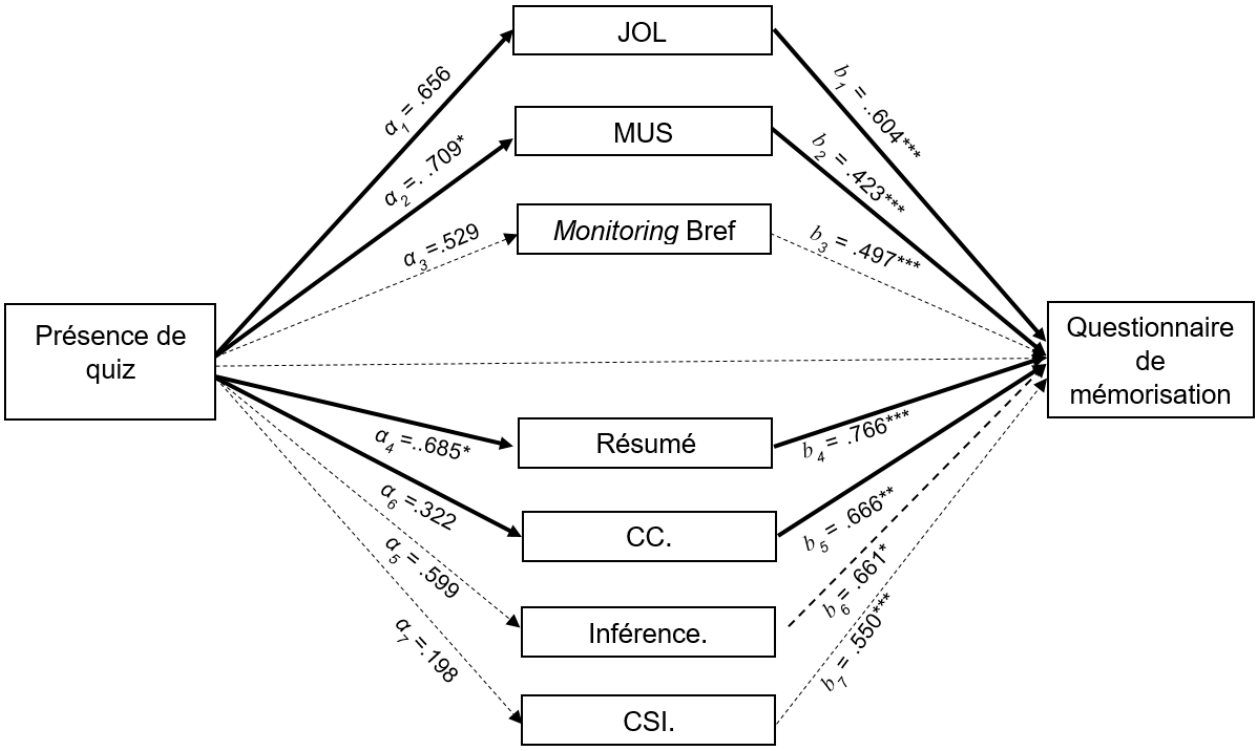
2.6. L'effet bénéfique des quiz sur la mémorisation des participants peut-il s'expliquer par un AAR de meilleure qualité ?

Comme nous nous y attendions, l'analyse de médiation, basée sur 20 000 échantillons, a mis en évidence que la relation entre la présence de quiz et les performances obtenues au questionnaire de mémorisation était médiatisée par les processus d'AAR (*c* = .665, *bias-corrected and accelerated confidence interval* (*BCa CI*) [0.01 ; 1.48]). Plus précisément, quatre

microprocessus médiatisent cette relation : le jugement d'apprentissage, le *monitoring* des stratégies, le résumé et la construction de connaissances (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 4, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 22). Ce résultat montre que l'effet indirect des tests sur les scores de mémorisation s'explique par une modification de l'AAR. En revanche, le temps alloué à l'apprentissage du document ne médiatise pas significativement la relation entre la présence des quiz et la performance au questionnaire de mémorisation (*b* = .019, BCa *CI* [-0.18 ; 0.34]). Ce résultat suggère que le temps d'allocation d'étude ne permet pas, dans cette étude, d'expliquer l'origine des meilleures performances de mémorisation observées dans le groupe « avec quiz ». Enfin, aucun effet indirect des tests sur les scores au questionnaire de transfert n'a été mis en évidence.

Tableau 4. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé.

	Effet indirect estimé	BCa CI
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	.40	[0.07 ; 0.81]
Monitoring des stratégies	.41	[0.03 ; 0.83]
Monitoring bref	.26	[-0.03 ; 0.74]
Utilisation de stratégie		
Résumé	.52	[0.05 ; 0.97]
Construction de connaissances	.40	[0.03 ; 0.81]
Inférence	.17	[-0.25 ; 0.56]
Coordination des sources d'informations	.11	[-0.25 ; 0.57]



Effet direct, *c* = .198, *p*=.383, IC [-0.26 ; .0.65]

Total effet indirect, *c* = .635, 95% IC [0.01, 1.48]

Fig. 22. Modèle de la relation entre la présence de quiz et les performances de mémorisation médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; MUS = *monitoring* de l'utilisation des stratégies ; CC. = construction de connaissances ; CSI. = coordination des sources d'informations ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés.

3. Discussion

L'objectif de cette expérience était d'étudier les effets des tests d'entraînement sur l'activité cognitive et métacognitive des étudiants. Plus précisément, il s'agissait de mieux comprendre les mécanismes psychologiques sous-tendant l'effet indirect des tests. Nous avions formulé les deux hypothèses suivantes : premièrement, la présence de quiz devrait diminuer la surestimation des étudiants et entrainer un réajustement de leur activité d'apprentissage.

Deuxièmement, les modifications de l'AAR devraient améliorer la mémorisation et la compréhension des informations du document multimédia.

Tout d'abord, les étudiants du groupe « avec quiz » ont mémorisé plus d'informations contenues dans les chapitres qui suivent les tests d'entraînement que les étudiants du groupe contrôle. Ces résultats corroborent ceux de Wissman *et al.* (2011) qui ont mis en évidence la présence d'un effet indirect des tests, tel que l'utilisation de tests d'entraînement potentialise la mémorisation d'un nouveau matériel. Nos résultats concernant d'une part la précision du *monitoring* et d'autre part l'utilisation des processus d'AAR permettent de mieux comprendre l'origine de cet effet indirect.

Premièrement, l'analyse des *bias index* mémorisation révèle que les étudiants du groupe contrôle surestiment la qualité de leur apprentissage par rapport à leurs performances réelles. Or, l'AAR peut difficilement être efficace s'il est guidé par un *monitoring* imprécis (e.g., Bjork *et al.*, 2013 ; Winne & Hadwin, 2013). En revanche, les étudiants du groupe « avec quiz » estiment précisément leurs performances d'apprentissage au regard de leurs scores réels au questionnaire de mémorisation. En effet, les *bias index* mémorisation des participants qui reçoivent régulièrement des quiz ne se différencient pas de la valeur 0, ce qui indique que l'estimation de leurs performances d'apprentissage est ajustée à leurs performances réelles de mémorisation. Ainsi, la précision du *monitoring* peut être améliorée par la présence de tests d'entraînement. Ces résultats corroborent ceux de précédents travaux (e.g., Bahrick & Hall, 2005 ; Glenberg *et al.,* 1987 ; Koriat & Bjork, 2006 ; Koriat & Ma'ayan, 2005 ; Shaughnessy & Zechmeister, 1992 ; Walczyk & Hall, 1989) et laissent supposer que les tests d'entraînement pourraient être utilisés comme des outils de recalibration du processus métacognitif.

Deuxièmement, nos résultats montrent que les quiz ont eu un effet sur l'AAR des participants. En effet, les étudiants qui bénéficient régulièrement de quiz pendant l'apprentissage ont vérifié plus souvent l'efficacité des stratégies qu'ils emploient (i.e., *monitoring* de l'utilisation de stratégie) et ont également eu tendance à réaliser plus de jugements d'apprentissage, de résumés et de construction de connaissances. Ces quatre processus étaient, par ailleurs, tous corrélés positivement aux scores de mémorisation. L'utilisation de tests d'entraînement a donc

amené les étudiants à vérifier plus souvent la qualité du processus d'apprentissage et à utiliser davantage de stratégies dites de haut niveau. De plus, l'analyse de médiation a révélé que l'utilisation de ces quatre processus médiatise la relation entre la présence de quiz et les performances au questionnaire de mémorisation. Ainsi, l'ensemble de ces résultats confirme notre hypothèse selon laquelle 1) l'effet indirect des tests sur la mémorisation s'explique par une modification de l'AAR et 2) cette modification de l'AAR serait provoquée par une baisse de la surestimation du *monitoring*. Il est par ailleurs intéressant de noter que, malgré le rôle de l'AAR dans l'effet indirect des tests, le temps alloué à l'apprentissage n'explique pas la relation entre la présence de quiz et les performances de mémorisation. Ainsi, en plus de fournir une mesure approximative de l'AAR, la mesure d'allocation de temps d'étude pourrait amener les chercheurs à sous-estimer l'impact des dispositifs expérimentaux sur l'AAR.

Les participants ayant reçu régulièrement des quiz pendant l'apprentissage n'ont pas obtenu de meilleures performances au questionnaire de transfert que les participants qui n'en n'ont pas reçu. De plus, l'analyse du *bias index* transfert indique que les participants du groupe « avec quiz » et du groupe contrôle ont surestimé leur compréhension du document. L'ensemble de ces résultats suggère que les participants ayant bénéficié de quiz ont estimé la note qu'ils obtiendraient à un futur examen sur la base de leur capacité à récupérer des informations du multimédia et non sur celle à comprendre le document. Par conséquent, ce réajustement du *monitoring* pourrait avoir provoqué une modification de l'AAR adapté pour un objectif de mémorisation et non pour un objectif de compréhension du cours.

Pour conclure, cette première étude met en évidence le rôle des processus d'AAR, et plus précisément du *monitoring,* dans l'effet indirect des tests. Les tests d'entraînement permettent de recalibrer ce processus central de l'AAR. La question reste posée de déterminer les paramètres de ces tests d'entraînement qui sont à l'origine d'un réajustement adapté du *monitoring*. Dans cette première étude, le format et l'exigence des quiz étaient similaires à ceux du questionnaire de mémorisation. Nos résultats laissent supposer que ces quiz, ont permis aux étudiants 1) de définir ou redéfinir plus précisément les objectifs de la tâche (i.e., mémoriser le document) et 2) d'estimer leur état cognitif au regard de cet objectif. Cette recalibration du processus de *monitoring* aurait, ici, permis une modification de l'AAR adaptée à l'objectif de

mémorisation. Par conséquent, l'efficacité des tests d'entraînement sur l'apprentissage pourrait dépendre de la fiabilité des indices qu'ils procurent quant à l'objectif final de la tâche d'apprentissage et de l'état cognitif des étudiants au regard de cet objectif.

CHAPITRE 5 - Expérience 2 : Facilités indésirables : simplifier la difficulté des tests d'entraînement supprime leur effet sur l'AAR[2]

Il est actuellement reconnu que les tests d'entraînement représentent une difficulté désirable pour l'apprentissage. En effet, répondre à une question nécessite de réaliser un effort pour retrouver la réponse stockée en mémoire. Cet effort cognitif renforce la trace mnésique de l'information récupérée et a été nommé l'effet direct des tests (e.g., Roediger & Karpicke, 2006). Par ailleurs, de nombreux travaux ont également décrit un effet indirect selon lequel réaliser des tests d'entraînement améliore l'apprentissage d'un nouveau document ou la révision d'un document déjà étudié (Ariel & Karpicke, 2017 ; Little & McDaniel, 2015 ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Yang *et al.*, 2017b ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Wissmann *et al.*, 2011). Notre première étude montre que cet effet indirect des tests sur la mémorisation s'expliquerait par une modification de l'AAR elle-même provoquée par un réajustement du processus de *monitoring*. Les tests d'entraînement procureraient aux apprenants des indices pour estimer d'une part l'exigence de l'évaluation à venir (Eitel, 2016 ; Storm *et al.*, 2016 ; Rouet & Vidal-Abarca, 2002) et d'autre part leur état cognitif au regard de cette exigence (Little & McDaniel, 2015 ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Yang *et al.*, 2017b). Les apprenants adapteraient alors leurs activités cognitives en fonction de ces indices (Rouet *et al.,* 2017 ; Winne & Hadwin, 1998). L'efficacité des tests d'entraînement pour optimiser les apprentissages ultérieurs dépendrait alors de la fiabilité des indices qu'ils fournissent. Autrement dit, tous les tests d'entraînement ne seraient pas nécessairement bénéfiques pour l'AAR et ce, malgré leur effet direct. Par exemple, le fait de procurer à des étudiants des tests d'entraînement dont les exigences ne correspondraient pas à celles de l'évaluation finale pourrait les amener à sur- ou sous-estimer leur capacité à réussir celle-ci. En conséquence, ces tests d'entraînement pourraient « tromper » le processus de *monitoring* et amener les étudiants à déployer un AAR inapproprié à l'objectif de la tâche.

[2] Fernandez J. & Jamet, E. (en révision). Undesirable easiness: making tests simpler cancels their beneficial effects on self-regulated learning. *Learning and Instruction.*

L'objectif de la présente étude est de comprendre l'origine des effets bénéfiques des tests sur l'AAR. Plus spécifiquement, il s'agit de déterminer si la fiabilité des indices procurés par les tests d'entraînement a un effet sur le réajustement du processus de *monitoring* et sur l'AAR. Pour ce faire, nous avons comparé trois groupes de participants qui avaient pour consigne d'apprendre un document multimédia de neurosciences. Le premier groupe de participants recevait régulièrement des quiz dont la difficulté était similaire à celle du questionnaire final de mémorisation (groupe « quiz standards »). Ainsi, ces quiz donnaient aux étudiants des indices fiables concernant leur capacité à réussir le questionnaire final de mémorisation. Le second groupe de participants recevait régulièrement des quiz dont la difficulté était moins importante que celle du questionnaire final de mémorisation (groupe « quiz facilités »). Ainsi, ces quiz procuraient aux étudiants des indices peu fiables concernant leur capacité à réussir le questionnaire final de mémorisation. Enfin, les participants du troisième groupe ne recevaient aucun quiz durant la session d'apprentissage (groupe contrôle). La précision du *monitoring*, la qualité de l'AAR et les performances de mémorisation et de compréhension ont été évaluées de la même manière que dans l'expérience 1. Nous formulons deux hypothèses. Premièrement, nous supposons que, dans le groupe « quiz standards », les performances estimées devraient être ajustées aux performances réelles de mémorisation alors que dans les groupes « quiz facilités » et contrôle, les performances estimées devraient être supérieures aux performances réelles de mémorisation (surestimation du processus de *monitoring* dans ces deux derniers groupes). Deuxièmement, nous faisons l'hypothèse selon laquelle seuls les tests d'entraînement qui permettent de réajuster le processus de *monitoring* (groupe « quiz standards ») amèneraient les étudiants à déployer un AAR adapté à l'exigence du questionnaire de mémorisation.

1. Méthode

1.1. Participants

Soixante-douze étudiants inscrits en première année de psychologie (52 femmes, 20 hommes) ont participé à cette étude. Le recrutement a été effectué dans le cadre de leur formation. L'âge moyen des participants était de 19.19 ans (*SD* = 1.75, étendue = 17-27 ans). Les participants étaient titulaires d'un baccalauréat à série économique et sociale (*n* = 22),

scientifique (*n* = 20), technologique (*n* = 14), littéraire (*n* = 13) et professionnel (*n* = 3). Les participants ont été aléatoirement répartis dans l'un des trois groupes expérimentaux suivants : groupe « quiz standards » (*n* = 24), groupe « quiz facilités » (*n* = 24), et groupe contrôle (*n* = 24). Aucun participant n'a été retiré de l'échantillon.

1.2. Conception des quiz standards et des quiz facilités

À la fin de chacun des chapitres du module d'apprentissage, un quiz constitué de six questions était présenté aux participants des groupes « quiz standards » et « quiz facilités ». Les participants du groupe « quiz standards » ont reçu les mêmes quiz que ceux utilisés dans le groupe « avec quiz » de la première expérience. Les quiz du groupe « quiz facilités » étaient composés exactement des mêmes questions que celles du groupe « quiz standards ». En revanche, la modalité de réponse différait : pour chaque question, deux possibilités de réponse étaient systématiquement affichées à l'écran (voir Fig. 23). Ainsi, à la fin de chaque chapitre, une tâche de reconnaissance était proposée aux participants du groupe « quiz facilités » tandis que les participant du groupe « quiz standards » devaient réaliser une tâche de rappel libre. Selon Tulving et Pearlston (1966), les scores de rappel sont meilleurs lorsque les personnes doivent reconnaitre une réponse plutôt que la récupérer en mémoire.

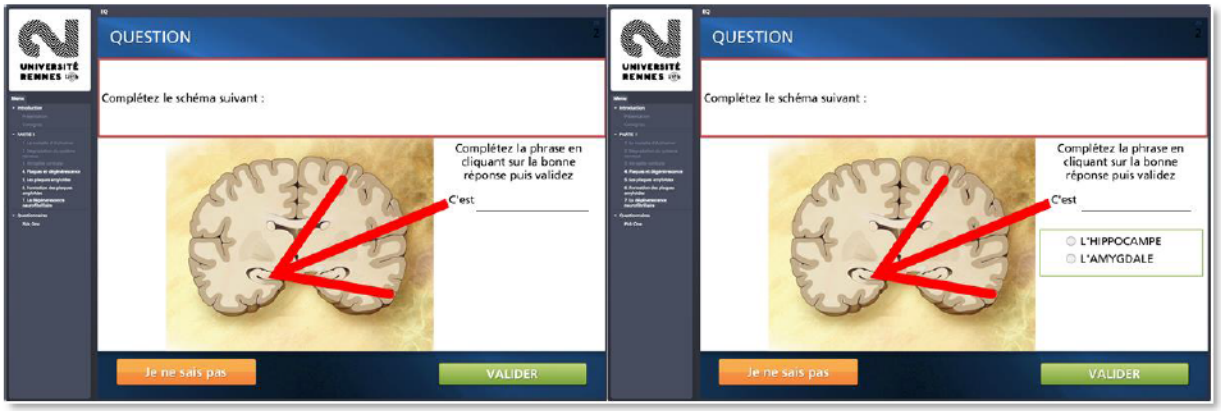


Fig. 23. Exemple de question utilisée dans le groupe « quiz standards » (gauche) et dans le groupe « quiz facilités » (droite).

1.3. Matériel, mesures et procédure

Nous avons utilisé le même matériel que dans l'expérience 1. Les mesures et la procédure étaient identiques celles décrites dans l'étude précédente à l'exception que le temps d'apprentissage était réduit (voir Fig. 24). En effet, la durée des passations expérimentales ne pouvait pas excéder une heure en raison du contexte de recrutement : les participants ont participé à cette expérience dans le cadre de leur formation de psychologie et les créneaux proposés ne pouvaient pas dépasser une heure. La taille de l'ENA a donc été réduite afin d'être adaptée à cette contrainte temporelle. Plus spécifiquement, la première section sur le fonctionnement normal du cerveau ainsi que les questions et quiz associés à cette partie ont été retirés du module d'apprentissage, seuls les éléments traitant de la maladie d'Alzheimer ont été conservés. De plus, les participants n'étaient plus autorisés à prendre de notes afin de limiter le temps d'apprentissage.

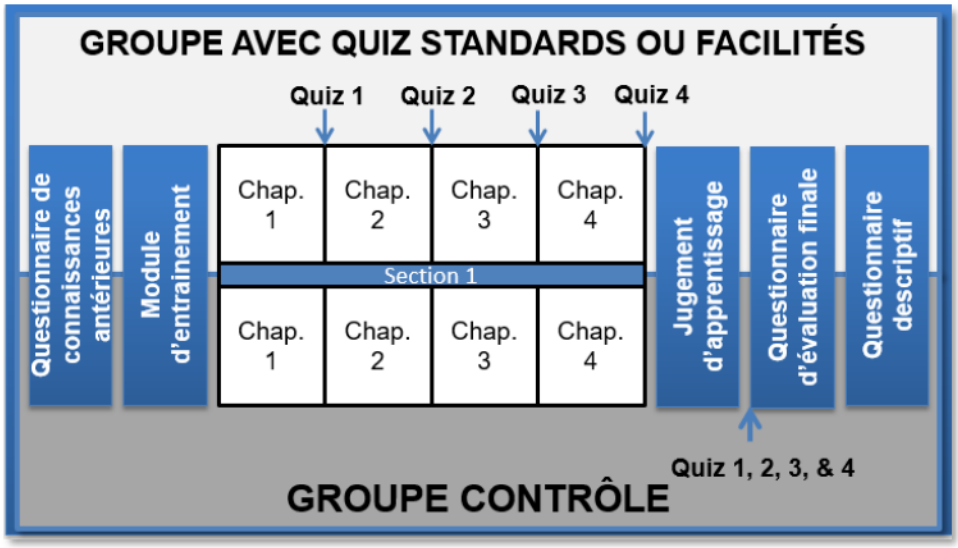


Fig. 24. Protocole expérimental pour les groupes « quiz standards » et « quiz facilités » (en haut) et pour le groupe contrôle (en bas).

1.4. Codage des processus d'AAR

En raison des ajustements précédemment décrits et afin d'améliorer la mesure de l'AAR, quelques modifications ont été apportées à la grille de codage. Tout d'abord, les microprocessus d'AAR de prise de notes, de relecture de notes et de dessin ont été retirés de la grille de codage. Par ailleurs, un nouveau microprocessus *control* a été ajoutée afin de coder toutes les prises

de décision verbalisées par l'apprenant (Muis *et al.*, 2016). Par exemple, la verbalisation « je vais relire car je n'ai pas bien compris », anciennement codée *monitoring* de l'utilisation de stratégie, était désormais codée en deux comportements : « Je vais relire » était codé *control* et « car je n'ai pas bien compris » était codé jugement d'apprentissage. Enfin, lors de la première étude, une part importante des erreurs de codage provenait de la difficulté des codeurs à distinguer le processus *construction de connaissances* avec le processus *coordination des sources d'informations.* Au regard de la proximité de ces deux activités cognitives et afin d'améliorer la fiabilité du codage, seule la stratégie *construction de connaissances* a été préservée (pour consulter la grille de codage modifiée voir Annexe 7).

Au total, 1075 minutes (17.92h) de verbalisations ont été enregistrées. Suivant la même procédure que celle décrite dans l'expérience 1, 6680 segments ont été codés pour les 72 participants de cette étude. Un double codage a été réalisé par une étudiante de master 1 de psychologie. Cette double codeuse avait préalablement reçu un entraînement afin de se familiariser avec la procédure de codage. Dans un premier temps, l'expérimentateur lui décrivait précisément chacun des microprocessus de la grille de codage. Ensuite, la double codeuse observait l'expérimentateur recoder plusieurs extraits d'enregistrement recueillis lors de la première étude. Des explications détaillées de chacun des codages réalisés lui étaient alors données. Finalement, la double codeuse codait à son tour plusieurs enregistrements extraits de la première expérience. Les désaccords étaient alors consciencieusement analysés et discutés. Le double codage a été réalisé sur 49.70% des données (soit 3322 segments). L'accord inter-juge était de 96.06% (soit un accord entre les juges sur 3192 segments). Les désaccords ont été résolus par la discussion.

De la même manière que pour l'expérience 1, nous avons retiré des analyses les microprocessus qui ont été peu utilisés par les participants (moyenne inférieure à deux occurrences durant toute la passation). Au total, les sept microprocessus suivants ont été supprimés : le sentiment de savoir, les jugements d'intérêt, l'évaluation du contenu, la difficulté de la tâche, les inférences, l'auto-questionnement et l'activation des connaissances antérieures.

1.5. Analyse des données

Les analyses statistiques réalisées dans cette étude étaient similaires à celles de la première étude. Cependant, quelques ajouts et modifications ont été apportés. Une régression linéaire a été effectuée afin d'évaluer la relation entre les performances des participants aux quiz et leur estimation d'apprentissage. Dans cette perspective, l'estimation produite par chaque participant a été régressée sur sa performance globale aux quiz. Cette performance a été calculée en additionnant les scores obtenus aux quatre quiz de six questions et pouvait donc varier entre 0 et 24 points. Cette analyse de régression visait à déterminer dans quelle mesure l'estimation de performance à une future évaluation s'appuyait sur les performances réelles obtenues aux quiz.

Par ailleurs, nous avons réalisé l'analyse de médiation avec une variable indépendante multicatégorielle (i.e., groupe « quiz standards », groupe « quiz facilités », groupe contrôle). Selon Hayes et Preacher (2014), ce type d'analyse nécessite de créer deux variables indicatrices : la variable indicatrice D1 représentait le groupe « quiz facilités » et la variable indicatrice D2 représentait le groupe « quiz standards ». Le groupe contrôle constituait la référence, codée 0, des variables D1 et D2. Cette analyse de médiation permettait d'estimer les effets indirects des différents types de quiz (i.e., facilités et standards) sur les scores obtenus au questionnaire de mémorisation via les processus d'AAR.

2. Résultats

2.1. Questionnaire de connaissances antérieures

Afin de nous assurer que les participants des trois groupes ne se distinguent pas quant à leurs connaissances préalables en neurosciences, les scores obtenus au questionnaire de connaissances antérieures ont été comparés via une ANOVA. L'analyse ne révéle aucune différence significative entre les participants du groupe « quiz standards » (M = 0.04, SD = 0.204), « quiz facilités » (M = 0.25, SD = 0.532), et les participants du groupe contrôle (M = 0.08, SD = 0.282), $F(2,69) = 2.166$, $p = .122$.

2.2. Les quiz facilités sont-ils bien plus simples ?

Dans un premier temps, nous nous sommes assurés que les questions des quiz facilités étaient plus simples que les questions des quiz standards. Pour ce faire, nous avons

comparé les scores obtenus aux quiz facilités (*M* = 22.79, *SD* = 1.35, 95% de réponses correctes) à ceux obtenus aux quiz standards (*M* = 10.79, *SD* = 4.62, 45% de réponses correctes) à partir d'un test non paramétrique de Mann-Whitney (la condition d'homoscédasticité des distributions n'était ici pas respectée pour utiliser un test paramétrique). Le test indique que les participants du groupe « quiz facilités » (*Min* = 20, *Max* = 24, *Med* = 23) présentent de meilleurs scores aux tests d'entraînement que les participants du groupe « quiz standards » (*Min =* 4*, Max* = 18, Med = 10.5), *U* = 0, *p* = 0.

2.3. Effet de la difficulté des quiz sur la performance d'apprentissage

- Performances au questionnaire de mémorisation

Afin d'évaluer si les performances de mémorisation varient en fonction des groupes (« quiz standards », « quiz facilités » et contrôle), une ANOVA à un facteur a été réalisée. L'analyse révèle un effet du groupe, $F(2,69) = 4.644$, $p = .013$, $\eta^2 p = .11$. Les tests post-hoc de Tukey montrent que les participant du groupe « quiz standards » (*M* = 9.41, *SD* = 4.49) présentent de meilleures performances que le groupe « quiz facilités » (*M* = 6.49, *SD* = 4.28, *p* = .036) et que le groupe contrôle (*M* = 5.56, *SD* = 4.15, *p* = .007). En revanche, les performances du groupe « quiz facilités » ne se différencient pas significativement de celles du groupe contrôle (voir Fig.25).

- Performance au questionnaire de transfert

Nous avons effectué un test de rapport de vraisemblance afin d'évaluer si les performances de transfert varient en fonction des groupes (« quiz standards », « quiz facilités » et contrôle). Cette analyse ne révèle pas de différence significative entre les scores obtenus par les trois groupes au questionnaire de transfert (*LR* = 4.366, *p* = .112) (voir Fig. 25).

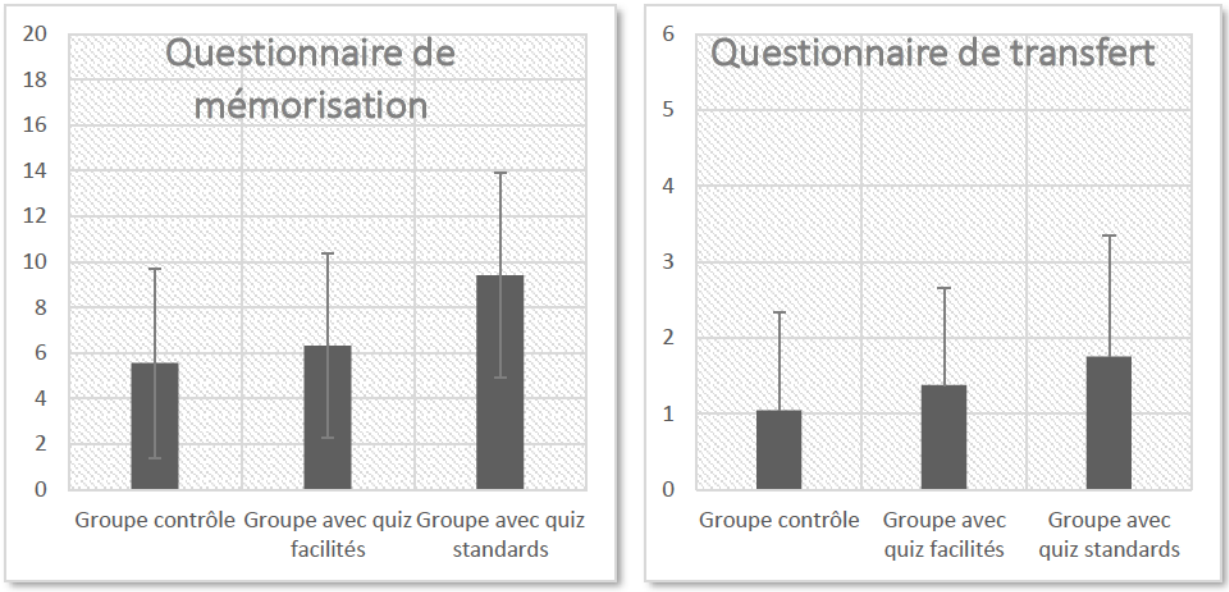


Fig. 25. Scores moyens et écarts-types pour chaque questionnaire (mémorisation et transfert) et pour chaque groupe expérimental (contrôle, « quiz facilités » et « quiz standards »).

2.4. Effet des performances aux quiz sur les estimations de performance

L'analyse de régression montre que les performances des participants aux quiz prédisent leur estimation de réussite à une future évaluation, $\beta 1 = .835$, $t(47) = 10.293$, $p < .001$, $R^2 = .697$. Par ailleurs, ajouter le paramètre « quiz » (standards vs. facilités) dans ce modèle ne contribue pas à expliquer l'estimation de réussite à une future évaluation. Autrement dit, le processus de *monitoring* repose sur les performances obtenues aux quiz pour réaliser cette estimation et ce, quel que soit le format et l'exigence des quiz.

2.5. Effets de la difficulté des quiz sur la précision du *monitoring*

- *Bias index* mémorisation

Dans un premier temps, des tests *t* pour échantillons uniques ont été réalisés afin de comparer le *bias index* mémorisation de chaque groupe à la valeur de zéro. Comme nous nous y attendions, les *bias index* mémorisation du groupe contrôle ($M = 4.18$, $SD = 4.20$) sont significativement supérieurs à la valeur zéro, $t(23) = 6.685$, $p < .001$. Un pattern similaire est observé pour le groupe « quiz facilités » ($M = 6.33$, $SD = 4.22$), $t(23) = 6.685$, $p < .001$. Ces résultats indiquent que les participants des groupes contrôle et « quiz facilités » surestiment leur performance par rapport à leur performance réelle au questionnaire de mémorisation. En

revanche, le *bias index* mémorisation du groupe « quiz standards » ne se différencie pas significativement de la valeur 0, $t(23) = -1.586$, $p = .13$. Ce résultat révèle que l'estimation de performance du groupe « quiz standards » est ajustée aux performances réelles de mémorisation.

Dans un second temps, nous avons réalisé une ANOVA afin de comparer entre eux les *bias index* mémorisation de chaque groupe. Cette analyse indique un effet du groupe, $F(2,69) = 22.365$, $p < .001$, $\eta^2p = .39$. Afin d'étudier plus précisément cet effet, un test post-hoc de Tukey a été effectué. Ce test révèle que les *bias index* du groupe « quiz standards » sont significativement inférieurs à ceux des groupes « quiz facilités » ($p < .001$) et contrôle ($p < .001$). En revanche, les *bias index* du groupe « quiz facilités » ne se différencient pas significativement de ceux du groupe contrôle (voir Fig. 26.).

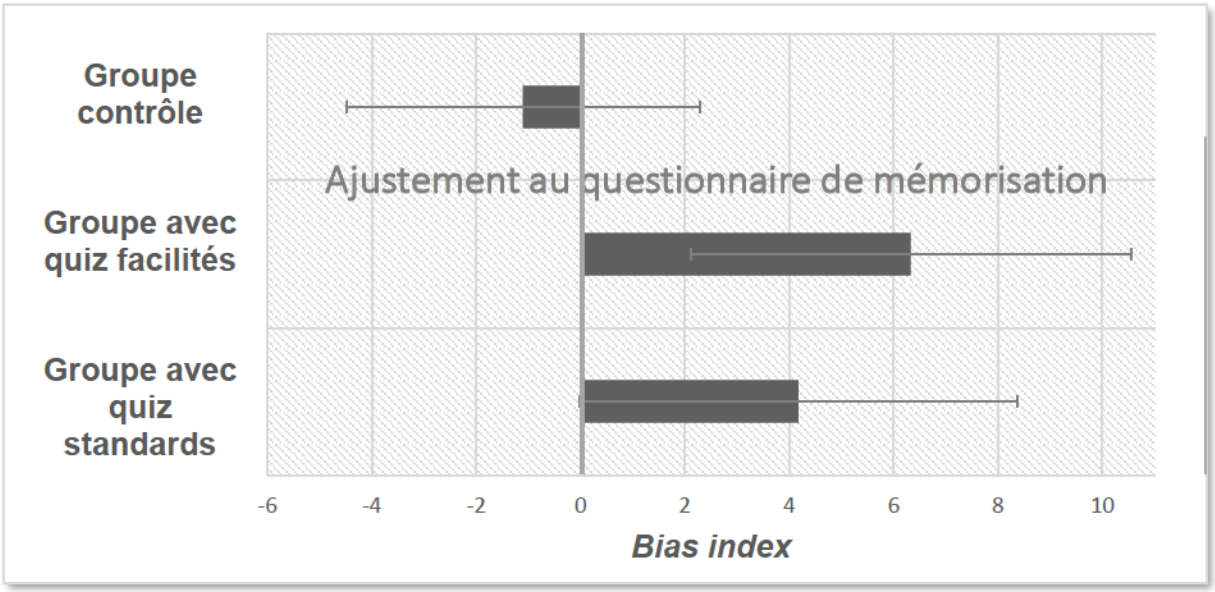


Fig. 26. Moyennes et écarts-types des *bias index* mémorisation pour chacun des groupes (« quiz standards », « quiz facilités », contrôle).

- *Bias index* transfert

Premièrement, nous avons réalisé des tests *t* pour échantillons uniques afin de déterminer si les *bias index* transfert de chacun des groupes se différencient significativement de la valeur 0. L'analyse montre que les *bias index* transfert du groupe « quiz standards » ($M = 6.38$, $SD = 2.79$, $t(23) = 11.175$, $p < .001$), du groupe quiz facilités ($M = 11.88$, $SD = 2.253$, $t(23) = 27.019$, $p <$

.001) et du groupe contrôle (M = 8.83, SD = 3.29, $t(23)$ = 13.143, p <.001) sont significativement supérieurs à la valeur 0, ce qui suggère que tous les participant ont surestimé leur performance au regard de leur performance réelle au questionnaire de transfert.

Deuxièmement, l'ANOVA indique un effet du groupe, $F(2,69)$ = 13.105, p < .001, η^2p = .27. Le test post-hoc de Tukey révèle que les *bias index* du groupe « quiz standards » sont significativement inférieurs à ceux des groupes « quiz facilités » (p < .001) et « contrôle » (p = .005). Ainsi, l'estimation de performance à une évaluation future du groupe « quiz standards » est mieux ajustée aux performances réelles de transfert que celle des groupes « quiz facilités » et « contrôle ». Aucune différence significative n'est, par ailleurs, observée entre les *bias index* des groupes « quiz facilités » et contrôle (voir Fig. 27).

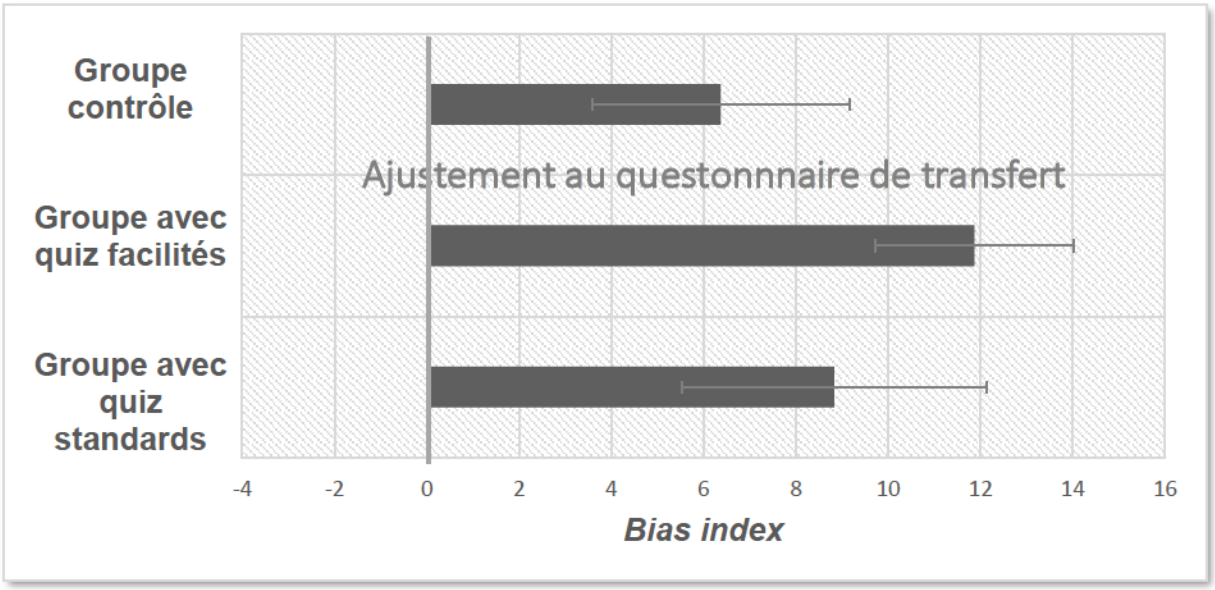


Fig. 27. Moyennes et écarts-types des *bias index* transfert pour chacun des groupes (« quiz standards », « quiz facilités », contrôle).

2.6. Identification des processus d'AAR efficients

Afin de déterminer si les processus d'AAR sont liés aux performances de mémorisation et de transfert, des corrélations de Pearson ont été réalisées. Cinq microprocessus d'apprentissage sont significativement liés aux scores obtenus au questionnaire de mémorisation : les jugements d'apprentissage, les *monitoring* brefs, les stratégies de résumé, de construction de connaissances

et de mémorisation. En revanche, seules les stratégies de construction de connaissances sont liées aux scores obtenus au questionnaire de transfert (voir Tableau 5).

Tableau 5. Corrélation entre les processus d'AAR et les performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert.

	Mémorisation	Transfert
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	.30**	.14
Brief *monitoring*	.41**	.22
Utilisation de stratégies		
Résumé	.41**	.25
Construction de connaissances	.58**	.28*
Relecture	.18	-.06
Mémorisation	.30**	.16
Control	-.13	-.06
Total AAR	.48**	.21

* $p < .05$. ** $p < .01$.

2.7. Effet des quiz sur l'AAR

Afin d'évaluer si les quiz ont eu un effet sur l'AAR, un test de rapport de vraisemblance a été effectué pour chaque microprocessus (voir Tableau 6 pour les statistiques descriptives).

Tableau 6. Moyennes et écarts-types *(SD)* du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (« quiz standards », « quiz facilités » et contrôle).

Processus d'AAR	Groupe « quiz standards » Moyenne *(SD)*	Groupe « quiz facilités » Moyenne (*SD*)	Groupe contrôle Moyenne (*SD*)
Monitoring			
Jugement d'apprentissage	3.38 *(3.73)*	1.71 *(2.37)*	1.80 *(3.08)*
Monitoring bref	23.67 *(17.01)*	17.04 *(16.91)*	10.50 *(12.42)*
Utilisation de stratégie			
Résumé	19.58 *(20.73)*	8.33 *(10.64)*	8.87 *(26.59)*
CC.[a]	8.79 *(6.64)*	3.96 *(4.58)*	3.71 *(5.12)*
Relecture	29.71 *(21.77)*	20.00 *(17.82)*	15.63 *(15.96)*
Mémorisation	3.37 *(4.84)*	0.83 *(2.22)*	1.08 *(2.28)*
Control	3.38 *(3.73)*	1.71 *(2.37)*	1.71 *(2.87)*
Total AAR	72.37 *(43.05)*	40.5 *(31.43)*	43.30 *(35.41)*

[a] CC = Construction de connaissances.

Conformément à nos attentes, l'analyse révèle un effet significatif du groupe sur les microprocessus d'AAR suivants : *monitoring* brefs (*LR* = 4.737, *p* = .029), construction de connaissances (*LR* = 6.798, *p* = .009), relecture (*LR* = 3.949, *p* = .047), mémorisation (*LR* = 4.511, *p* = .034) et le nombre total de processus d'AAR utilisé (*LR* = 10.433, *p* = .005) (voir Fig. 28.). Un effet tendanciellement significatif du groupe est observé pour la stratégie de résumé (*LR* = 3.226, *p* = .072). En revanche, l'analyse ne montre aucun effet du groupe pour les microprocessus jugement d'apprentissage et *control*. Afin d'étudier plus précisément ces effets significatifs, nous avons effectué des comparaisons de modèles. Ces dernières indiquent que les participants du groupe « quiz standards » utilisent davantage les microprocessus constructions de connaissances, relecture et mémorisation que les participants des deux autres groupes (pour les BIC de chaque modèle voir le Tableau 7.). Le nombre d'utilisations de ces trois processus n'est pas significativement différent entre le groupe « quiz facilités » et le groupe contrôle. Enfin, les participants des groupes « quiz standards » et « quiz facilités » ont utilisé plus de

monitoring brefs que ceux du groupe contrôle. Aucune différence significative n'est observée dans le nombre d'utilisations de ce processus entre les groupes « quiz standards » et « quiz facilités ».

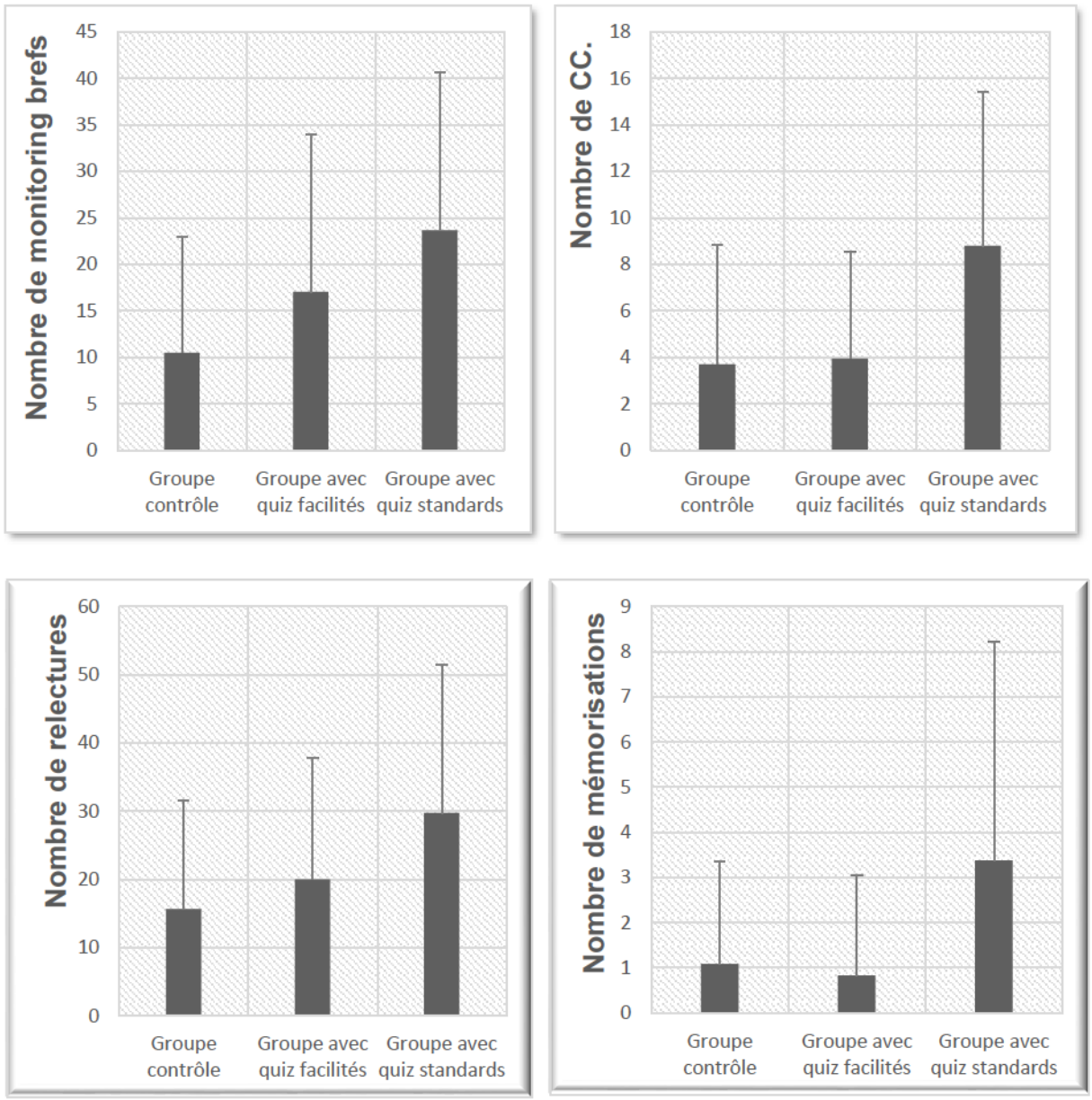


Fig. 28. Nombre de *monitoring* brefs (en haut à gauche), de constructions de connaissances (CC., en haut à droite), de relectures (en bas à gauche) et de mémorisations (en bas à droite) pour chaque groupe expérimental (contrôle, « quiz facilités » et « quiz standards »).

Tableau 7. BIC pour chaque modèle d'effet des variables expérimentales groupes sur l'utilisation de processus d'AAR.

	Modèle nul	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
Monitoring brefs	511.226	510.791	515.475	**510.070**	512.838
CC.[a]	352.015	**341.264**	353.975	348.103	344.304
Relecture	563.325	**562.505**	567.1591	564.289	566.154
Mémorisation	215.219	**209.891**	214.359	217.749	213.493
Total AAR	709.907	**705.040**	708.036	764.837	708.027

[a] CC. = Construction de connaissances
Modèle nul : Les trois groupes ne se différencient pas les uns des autres
Modèle 1 : Groupe « quiz standards » différent des deux autres groupes
Modèle 2 : Groupe « quiz facilités » différent des deux autres groupes
Modèle 3 : Groupe contrôle différent des deux autres groupes
Modèle 4 : Les trois groupes sont différents les uns des autres

2.8. Les processus d'AAR médiatisent-ils la relation entre quiz et performances d'apprentissage ?

Nous avons réalisé une analyse de médiation afin d'évaluer si les différences de performances de mémorisation entre les trois groupes peuvent être expliquées par l'utilisation des processus d'AAR. Cette analyse ne révèle aucun effet direct des quiz standards sur les performances au questionnaire de mémorisation (c'_2 = 0.140, p = .608). De même, aucun effet direct entre les quiz facilités et les performances de mémorisation n'est observé (c'_1 = 0.114, p = .623). En revanche, la relation entre les quiz standards et les scores au questionnaire de mémorisation est globalement médiatisée par l'AAR des étudiants (c'_2 = 0.741, *BCa 95% CI* [0.28 ; 1.33]). Plus précisément, les meilleures performances du groupe « quiz standards » au questionnaire de mémorisation sont expliquées par l'utilisation des stratégies de construction de connaissances (*ab* = 0.488, 95% IC [0.16, 0.92]) et de mémorisation (*ab* = 0.158, 95% IC [0.02, 0.48]) (voir Tableau 8 pour l'ensemble des indicateurs statistiques). En revanche, aucun effet indirect n'est observé entre les « quiz facilités » et les performances de mémorisation (voir Tableau 8). Enfin, l'analyse de la relation entre les quiz standards et les performances au questionnaire de transfert ne révèle aucun effet direct et indirect. Le même pattern est observé pour les quiz facilités (pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 29).

Tableau 8. Effet indirect de chaque microprocessus et leur intervalle de confiance associé pour les groupes « quiz standards » et « quiz facilités ».

	Quiz standards		Quiz facilités	
	Effet indirect estimé	BCa CI	*Effet indirect estimé*	BCa CI
Monitoring				
Jugement d'apprentissage	-.05	[-0.34 ; 0.05]	.00	[-0.05 ; 0.12]
Monitoring bref	.15	[-0.01 ; 0.42]	.08	[-0.01 ; 0.28]
Utilisation de stratégie				
Résumé	.01	[-0.28 ; 0.23]	.00	[-0.08 ; 0.09]
Construction de connaissances	.49	[0.16 ; 0.92]	.03	[-0.30 ; 0.32]
Relecture	-.12	[-0.12 ; 0.11]	-.04	[-0.23 ; 0.03]
Mémorisation	.17	[0.02 ; 0.48]	-.02	[-0.16 ; 0.08]
Control	.01	[-0.07 ; 0.04]	.00	[-0.04 ; 0.06]

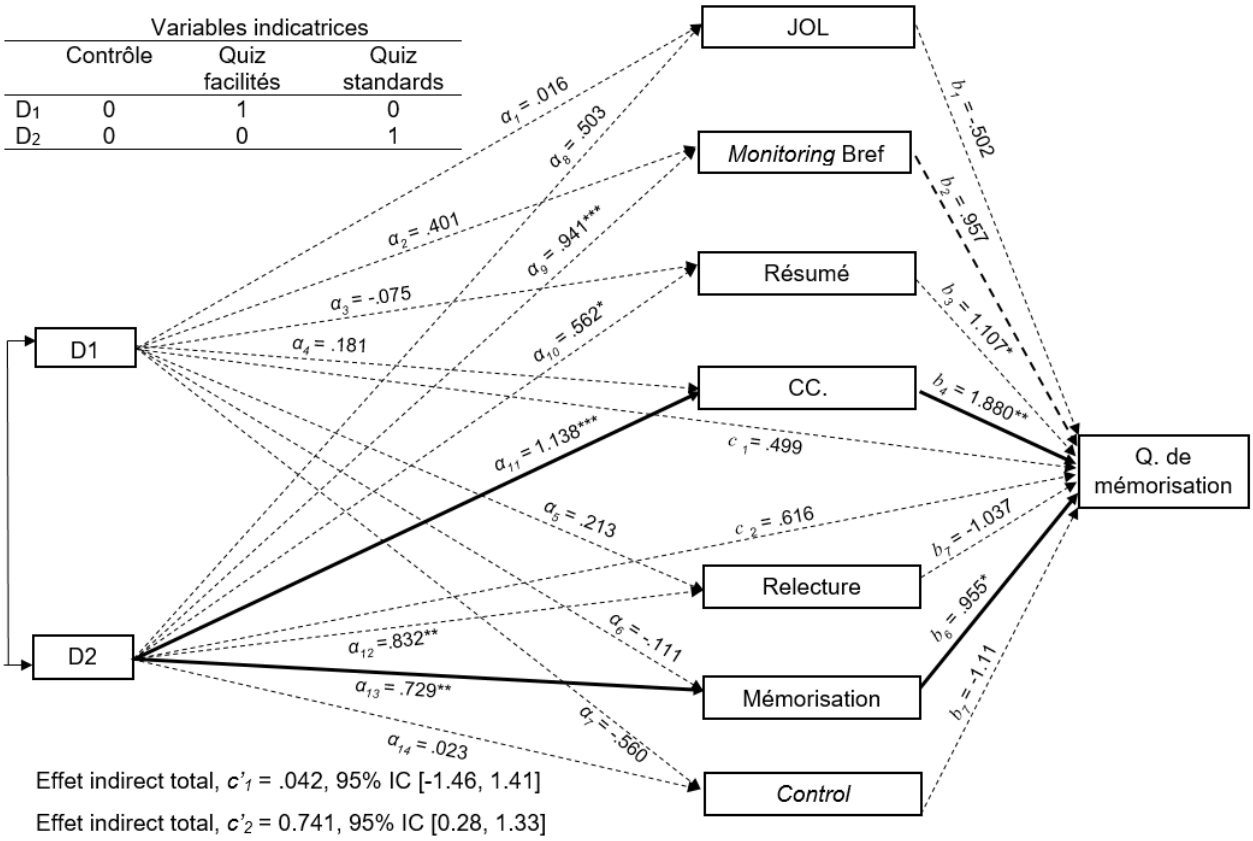


Fig. 29. Modèle de la relation entre la présence de quiz et les performances de mémorisation médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : Q. = Questionnaire ; JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés.

3. Discussion

L'objectif de cette deuxième étude consistait à déterminer dans quelle mesure les indices procurés par les tests d'entraînement ont un effet sur le réajustement du *monitoring* et sur l'AAR. Nous avions formulé deux hypothèses. Premièrement, seuls les tests d'entraînement qui fournissent des indices fiables quant à l'exigence de la tâche finale et à l'état cognitif de l'apprenant au regard de l'objectif de cette tâche réajusteraient efficacement le processus de *monitoring*. Deuxièmement, seuls les tests d'entraînement qui réajustent le processus de

monitoring amèneraient les étudiants à adapter efficacement leur AAR aux exigences du questionnaire de mémorisation.

Nos résultats confirment ceux de précédentes études en montrant que, lorsque l'exigence des tests d'entraînement est similaire à celle de l'évaluation finale, ceux-ci peuvent potentialiser l'AAR lors d'une session d'apprentissage ultérieure (Expérience 1 ; Eitel, 2016 ; Little & McDaniel, 2015 ; Sodertstrom & Bjork, 2014). En effet, les étudiants du groupe « quiz standards » étaient 1) plus précis à estimer leur performance à une évaluation future, 2) ont utilisé plus de processus d'AAR efficaces et 3) ont obtenu de meilleurs résultats au questionnaire de mémorisation que les étudiants des deux autres groupes. En revanche, les étudiants du groupe « quiz facilités » 1) surestimaient grandement leurs performances à une évaluation à venir, 2) ont utilisé moins de processus efficaces d'AAR et 3) ont obtenu des performances de mémorisation similaires à celles du groupe contrôle. Par conséquent, ces résultats indiquent que tous les tests ne produisent pas systématiquement un effet indirect.

Par ailleurs, comme le suggère l'analyse de régression linéaire, les participants des groupes « quiz standards » et « quiz facilités » s'appuient sur leurs performances aux tests d'entraînement pour estimer leur performance à une évaluation future. Autrement dit, les participants semblent avoir utilisé les indices fournis par les quiz pour ajuster leur processus de *monitoring*. Ces résultats corroborent ceux de Finn et Metcalfe (2007, 2008). En effet, ces auteurs ont indiqué que les étudiants ont tendance à utiliser une stratégie consistant à se baser sur le souvenir de résultats obtenus à d'anciens tests pour estimer leurs futures performances. Par conséquent, l'efficacité de ce type de stratégie pour recalibrer le processus de *monitoring* dépendrait de la capacité des performances passées à prédire les performances à venir. Dans notre étude, le processus de *monitoring* des étudiants est relativement précis lorsque ceux-ci reçoivent régulièrement des tests d'entraînement dont le format et l'exigence sont similaires à ceux de l'évaluation finale (i.e., groupe « quiz standards »). En revanche, les étudiants qui ont reçu des tests d'entraînement dont l'exigence et le format diffèrent du questionnaire de mémorisation finale ont surestimé leur performance d'apprentissage (i.e., groupe « quiz facilités »). Autrement dit, leur processus de *monitoring* était moins bien ajusté à leurs performances réelles. Par ailleurs, seuls les quiz qui ont amélioré l'ajustement du processus

de *monitoring* ont favorisé une utilisation plus importante des processus d'AAR. Les étudiants ont donc adapté leur apprentissage sur la base d'estimations produites par le processus de *monitoring*. Ainsi, les participants qui ont bénéficié de quiz standards ont amélioré leur AAR lors de nouvelles sessions d'apprentissage alors que ce n'était pas le cas pour les participants qui ont reçu les quiz facilités. L'utilisation de quiz facilités provoquerait, chez les étudiants, une « illusion métacognitive » qui favoriserait un AAR inadapté à l'exigence de la tâche. Toutefois, les résultats de notre expérience ne permettent pas de définir clairement si les effets des quiz sur le *monitoring* et l'AAR résultent de l'adéquation entre l'exigence des tests d'entraînement à celle de l'évaluation finale ou de l'adéquation entre le format des tests d'entraînement à celui de l'évaluation finale ou de la combinaison des deux. Il serait donc nécessaire, par la suite, de réaliser une nouvelle recherche afin de déterminer plus précisément la contribution de chacun de ces paramètres (exigence et format) sur les effets observés.

Nos deux premières études ont montré que les tests pouvaient améliorer l'AAR. Cependant, nos résultats ont également révélé que cet apprentissage n'était pas optimal. En effet, dans l'expérience 2, les participants bénéficiant régulièrement de quiz standards durant leur apprentissage ont, en moyenne, utilisé plus de stratégies inefficaces (i.e., non corrélées aux performances finales) de relecture que les étudiants des deux autres groupes. En outre, les participants du groupe « quiz standards » n'ont pas utilisé plus de stratégies efficaces (i.e., corrélées aux performances finales) de résumé. De récentes études ont suggéré l'existence d'une relation imparfaite entre le processus de *monitoring* et le processus de *control* (Ariel, 2013 ; Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Karpicke, 2009 ; Nelson & Leonesio, 1988 ; Roelle, Schmidt *et al.*, 2017 ; Thiede *et al.*, 2017). En effet, le processus de *control* doit être en mesure de déployer des stratégies adaptées pour réduire l'écart entre l'objectif d'apprentissage et l'état cognitif de l'apprenant détecté par le processus de *monitoring*. Or, certains étudiants ne disposent pas toujours, dans leur librairie métacognitive, des connaissances stratégiques nécessaires pour réduire cet écart (Eme & Rouet, 2001). Dans cette perspective, l'effet des tests d'entraînement sur l'AAR pourrait être davantage quantitatif que qualitatif. En d'autres termes, l'utilisation de tests d'entraînement pourrait amener les étudiants à modifier la quantité et non le type de stratégies déployées lors de l'apprentissage. Ainsi, la question reste de savoir si

combiner des tests d'entraînement à des incitations stratégiques pertinentes pourrait potentialiser les effets des tests sur l'apprentissage.

CHAPITRE 6 - Expérience 3 : Effets de la combinaison des incitations stratégiques aux tests d'entraînement sur l'AAR

De nombreuses études ont montré que, lors de l'apprentissage d'un document multimédia, les apprenants n'appliquent pas systématiquement les stratégies adaptées à l'élaboration d'un modèle mental cohérent (e.g., Cromley *et al.,* 2010a). Les incitations stratégiques ont souvent été utilisées dans la littérature pour guider les étudiants à déployer des stratégies d'apprentissage plus adaptées (e.g., Dignath *et al.*, 2008 ; Donker *et al.*, 2014). Ces outils de soutien à l'AAR prennent fréquemment la forme de questions incitatives comme par exemple « Avez-vous pensé à résumer le paragraphe lu ? ». Plusieurs travaux ont mis en évidence que l'utilisation de ce type de question améliore l'apprentissage de documents multimédias (e.g., Bannert & Mengelkamp, 2013 ; Bannert *et al.*, 2015 ; Roelle, Hiller, Berthold, & Rumann, 2017 ; Sitzmann & Ely, 2010). Toutefois, les analyses d'eye-tracking et les protocoles de verbalisation ont montré que les consignes stratégiques ne sont pas toujours suivies par les apprenants (Bannert & Reinman, 2012 ; Eitel & Scheiter, 2016 ; Hadwin & Winne, 1996 ; Métayer, 2016, étude 3). Selon le modèle de Nelson et Narens (1990), les prises de décisions des apprenants à déployer, maintenir ou abandonner une stratégie reposent sur le processus de *monitoring.* Par conséquent, la volonté des étudiants à se conformer ou non aux incitations stratégiques pourrait également dépendre du processus de *monitoring*.

Cette étude a pour objectif de tester l'hypothèse générale selon laquelle les étudiants se conformeraient davantage aux incitations stratégiques proposées lorsque leur processus de *monitoring* est précis que lorsqu'il ne l'est pas. Pour ce faire, nous avons utilisé les mêmes quiz (quiz standards) que ceux de l'expérience 1 et 2 comme outils de recalibration du *monitoring*. La tâche des participants consistait à apprendre le même document multimédia que dans l'expérience 2. Les participants réalisaient cette tâche 1) avec ou sans quiz et 2) avec ou sans incitations stratégiques. La précision du *monitoring*, la qualité de l'AAR et les performances de mémorisation et de compréhension ont été évaluées de la même façon que dans les deux premières expériences. Au vu des résultats obtenus dans les expériences 1 et 2, nous nous

attendons à ce que les participants bénéficiant de quiz améliorent leurs performances d'apprentissage. Cette amélioration devrait s'expliquer par une amélioration de la précision du *monitoring* et par une utilisation plus importante des processus d'AAR. Par ailleurs, nous nous attendons à ce que la précision du processus de *monitoring* ne soit pas améliorée chez les participants bénéficiant d'incitations stratégiques. En revanche, ces participants devraient utiliser plus de stratégies d'apprentissage suggérées et avoir en conséquence de meilleures performances d'apprentissage que les participants qui ne reçoivent pas les incitations stratégiques. Enfin, nous nous attendons à un effet d'interaction entre les quiz et les incitations stratégiques à la fois sur le nombre de processus d'AAR utilisés et sur les performances d'apprentissage. Plus précisément, nous supposons que les participants se conformeront d'autant plus aux incitations stratégiques proposées lorsque celles-ci seront précédées de quiz. Autrement dit, le processus de *control* métacognitif s'ajustera davantage aux instructions stratégiques lorsque le processus de *monitoring* détecte un écart entre l'objectif de la tâche et l'état cognitif actuel.

1. Méthode

1.1. Participants

Quatre-vingt-quatre étudiants (66 femmes et 18 hommes) inscrits en 2ème année de psychologie ont participé à cette étude (M_{age} = 22.57, *SD* = 1.44, étendue = 21 à 31 ans). Les participants ont été recrutés dans le cadre de leur formation. Ils étaient titulaires d'un bac à série économique et sociale (*n* = 25), scientifique (*n* = 23), littéraire (*n* = 19), technologique (*n* = 13), professionnel (*n* = 2) et autre (*n* = 2). Les participants ont été aléatoirement répartis dans les quatre groupes expérimentaux suivants : groupe « avec quiz et avec incitations stratégiques » (*n* = 21), groupe « sans quiz et avec incitations stratégiques » (*n* = 21), groupe « avec quiz et sans incitations stratégiques » (*n* = 21) ou groupe « sans quiz et sans incitations stratégiques » (*n* = 21). Aucun participant n'a été retiré de l'échantillon.

1.2. Conception des quiz et des incitations stratégiques

Les quiz utilisés dans cette étude étaient identiques à ceux employés dans le groupe « quiz standards » de l'étude précédente. Les étudiants qui recevaient des incitations stratégiques

devaient répondre à 6 questions en exprimant leur degré d'accord ou de désaccord sur une échelle graduée de 1 à 5 à chacune des propositions énoncées. Ces questions portaient sur les activités stratégiques déployées au cours de la tâche et étaient inspirées de l'étude de Sitzmann et Ely (2010) afin de favoriser différents aspects de l'apprentissage autorégulé (i.e., attention soutenue, métacognition et activité stratégique) (voir Fig. 30).

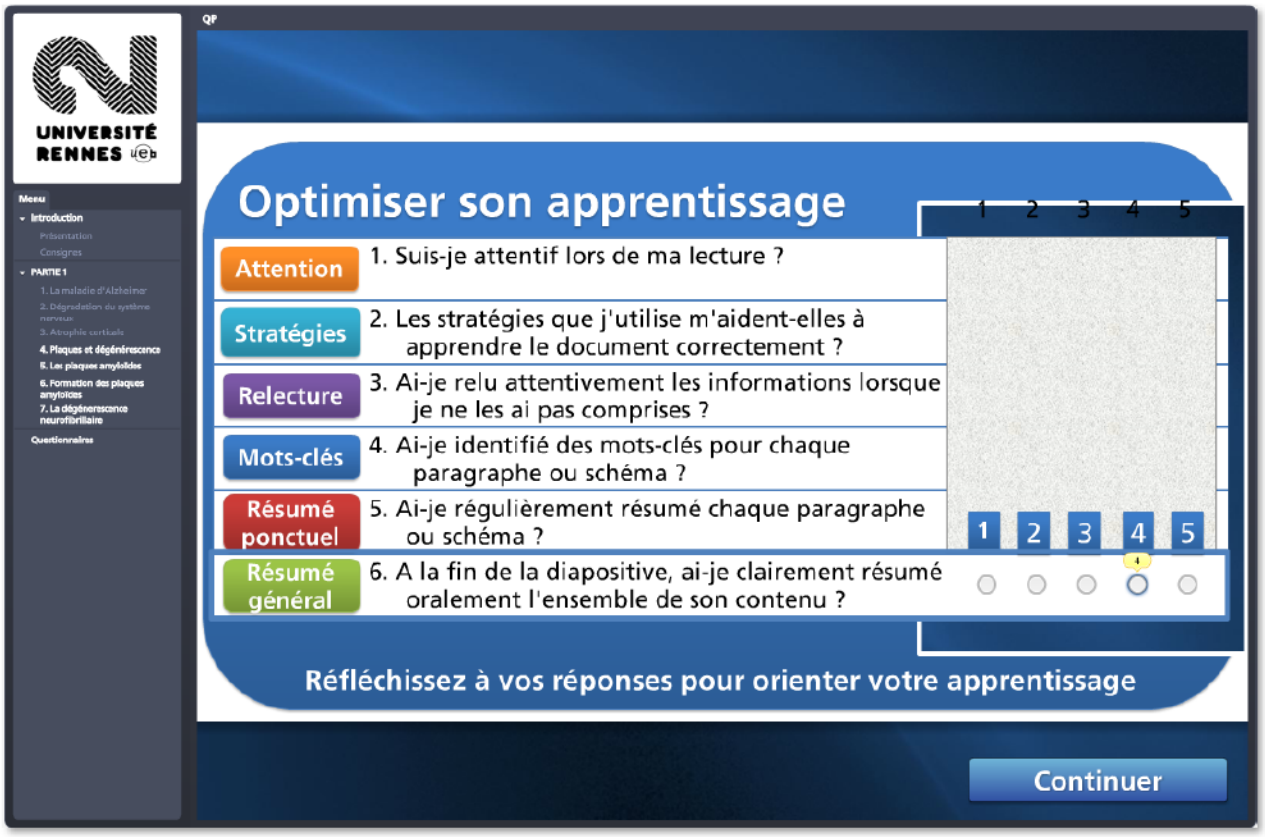


Fig. 30. Interface de la phase « incitations stratégiques ».

1.3. Matériel, mesures et procédure

Le matériel (i.e., ENA de neurosciences), les mesures (i.e., jugements d'apprentissage, verbalisations, scores aux questionnaires de mémorisation et de transfert) et la procédure utilisée dans cette expérience étaient identiques à ceux de l'étude précédente. Les participants du groupe « avec quiz et sans incitations stratégiques » devaient répondre, à la fin de chaque chapitre, aux 6 mêmes questions que celles utilisées dans le groupe « quiz standards » de l'étude précédente. Les participants du groupe « sans quiz et avec incitations stratégiques » recevaient, à la fin

de chaque chapitre, la consigne suivante : « *Les recherches ont montré que le fait de se questionner sur sa façon d'apprendre permettait d'optimiser son apprentissage. Répondez honnêtement aux questions suivantes et utilisez vos réponses pour guider la suite de votre apprentissage* ». Ils devaient ensuite répondre aux six questions d'incitations stratégiques. Les quatre mêmes quiz que ceux donnés aux deux groupes avec quiz leur étaient proposés à la fin de la session d'apprentissage, après qu'ils aient répondu à la question de jugement d'apprentissage. Les participants du groupe « avec quiz et avec incitations stratégiques » devaient répondre, à la fin de chaque chapitre, aux six questions du quiz. Puis, la consigne et les questions d'incitations stratégiques leur étaient présentées. Enfin, les participants du groupe « sans quiz et sans incitations stratégiques » passaient d'un chapitre à l'autre, sans recevoir les questions de quiz et les incitations stratégiques. Les questions des quatre quiz leur étaient présentées après qu'ils aient répondu à la question de jugement d'apprentissage (voir Fig.31).

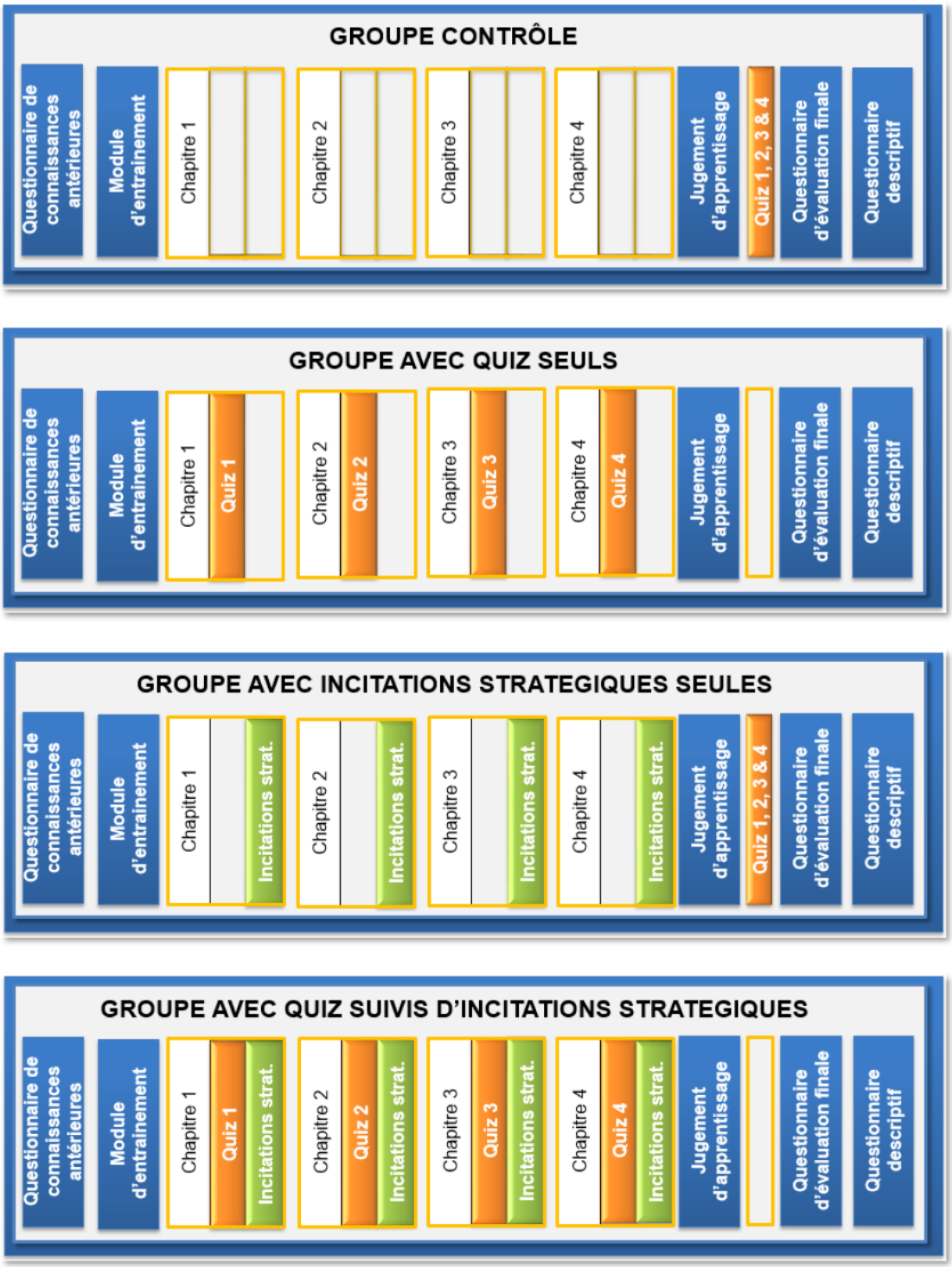


Fig. 31. Protocole expérimental pour chacun des groupes.

1.4. Codage des processus d'AAR

1965 minutes (32.75 h) de verbalisations ont été enregistrées dans cette étude. L'analyse des processus d'AAR a été réalisée à partir de la même grille de codage et de la même procédure que dans l'expérience 2 (voir Annexe 7). Au total, 12 515 segments ont ainsi été codés. La même étudiante que dans l'expérience 2 a réalisé le double codage sur 40.99% des données. L'accord inter-juge était de 92.16% (soit un accord entre les juges sur 4728 segments des 5130 segments double codés). De la même manière que pour les expériences 1 et 2, nous avons retiré des analyses les microprocessus d'AAR qui ont été utilisés en moyenne moins de deux fois durant toute la passation. Au total, les sept microprocessus suivants ont été supprimés : le sentiment de savoir, les jugements d'intérêt, l'évaluation du contenu, la difficulté de la tâche, les inférences, l'auto-questionnement et l'activation des connaissances antérieures.

1.5. Analyse des données

Les analyses réalisées dans cette étude étaient identiques à celles effectuées dans l'étude 2.

2. Résultats

2.1. Questionnaire de connaissances antérieures

Afin de nous assurer que les participants des différents groupes ne se distinguent pas quant à leurs connaissances préalables en neurosciences, les scores obtenus au questionnaire de connaissances antérieures ont été comparés à partir d'une ANOVA. L'analyse ne révèle aucune différence significative entre les groupes bénéficiant de quiz (M = 2.45, SD = 1.35) et les groupes n'en bénéficiant pas (M = 2.64, SD = 1.53), $F(1,80) = 0.360$, $p = .550$. De plus, aucune différence significative n'est observée entre les groupes bénéficiant d'incitations stratégiques (M = 2.52, SD = 1.55) et les groupes n'en bénéficiant pas (M = 2.57, SD = 1.32), $F(1,80) = 0.023$, $p = .881$.

2.2. Effet des quiz et des incitations stratégiques sur les performances d'apprentissage

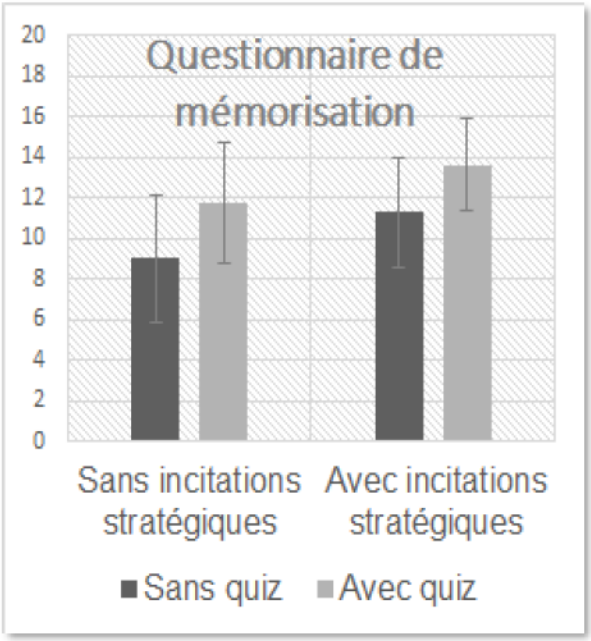
- Performances au questionnaire de mémorisation

Afin de déterminer si les performances au questionnaire de mémorisation varient en fonction des quiz (avec ou sans) et des incitations stratégiques (avec ou sans), une ANOVA a été

réalisée en prenant comme facteurs inter-sujets les quiz et les incitations stratégiques. L'analyse met en évidence un effet principal des quiz, $F(1,80) = 17.355$, $p < .001$, $\eta^2p = .18$, tel que les participants bénéficiant de quiz obtiennent de meilleures performances au questionnaire de mémorisation ($M = 13.62$, $SD = 2.20$) que les participants ne bénéficiant pas de quiz pendant l'apprentissage ($M = 11.71$, $SD = 2.69$). Par ailleurs, conformément à nos attentes, l'ANOVA indique un effet principal des incitations stratégiques, $F(1,80) = 11.786$, $p = .001$, $\eta^2p = .13$: les participants qui ont reçu des incitations stratégiques obtiennent des performances de mémorisation plus élevées ($M = 11.29$, $SD = 2.99$) que les participants qui n'en n'ont pas reçu durant la session d'apprentissage ($M = 9.02$, $SD = 3.13$). Toutefois, contrairement à ce que nous nous attendions, l'analyse ne révèle d'effet d'interaction entre les quiz et les incitations stratégiques, $F(1,80) = 0.082$, $p = .774$ (voir Fig. 32).

- Performances au questionnaire de transfert

Afin de déterminer si les performances au questionnaire de transfert varient en fonction des quiz (avec ou sans) et des incitations stratégiques (avec ou sans), un test de rapport de vraisemblance a été réalisé. Cette analyse ne montre aucun effet principal, ni d'interaction entre les quiz et les incitations stratégiques (voir Fig. 32).



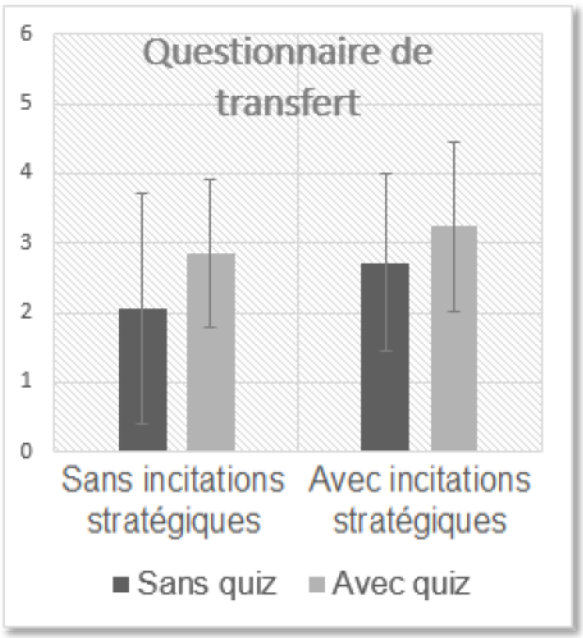


Fig. 32. Moyennes et écarts-types des performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert pour chaque groupe expérimental (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).

2.3. Effet des performances aux quiz sur les estimations d'apprentissage

Afin de déterminer si les participants s'appuient sur leurs performances aux quiz pour produire leur estimation de performance à l'évaluation finale, une analyse de régression a été réalisée. Pour ce faire, l'estimation produite par chaque participant a été régressée sur sa performance globale aux quiz. Cette régression linéaire a été conduite seulement auprès des groupes qui ont reçu des quiz durant l'apprentissage. L'analyse montre que les performances aux quiz prédisent les estimations réalisées par les étudiants, $\beta 1 = .962$, $t(41) = 8.447$, $p < .001$, $R^2 = .641$. Ajouter le paramètre « incitations stratégiques » (avec ou sans) dans ce modèle ne contribue pas à expliquer l'estimation de réussite à une future évaluation. Autrement dit, le fait que les étudiants reçoivent ou non des incitations stratégiques n'a pas d'effet sur les estimations produites. Par conséquent, ces résultats suggèrent que les participants se sont basés sur leurs performances aux quiz pour prédire leur performance à une évaluation à venir.

2.4. Effets des conditions expérimentales sur le *monitoring*

- *Bias index* mémorisation

Tout d'abord, des tests *t* pour échantillons uniques ont été réalisés afin de comparer le *bias index* mémorisation de chacun des groupes à la valeur zéro (voir Tableau 9 pour les statistiques descriptives). Cette analyse vise à évaluer la qualité de l'ajustement de l'estimation des participants à leurs performances de mémorisation réelles. Le test *t* montre que les *bias index* mémorisation des groupes avec quiz, $t(42) = -4.338$, $p < .001$, et des groupes avec incitations stratégiques, $t(42) = -3.153$, $p = .003$, sont significativement inférieurs à la valeur zéro. Ces résultats indiquent que les participants qui ont bénéficié des tests d'entraînement et des incitations stratégiques sous-estiment leurs performances réelles au questionnaire de mémorisation. En revanche, les *bias index* mémorisation des groupes sans quiz, $t(42) = -$

0.183, p = .855, et des groupes sans incitations stratégiques, $t(42)$ = -1.231, p = .226, ne se différencient pas significativement de la valeur 0. Ce résultat révèle que l'estimation de performance des participants qui n'ont ni reçu de quiz, ni d'incitations stratégiques est ajustée à leur performance réelle de mémorisation.

Par ailleurs, nous avons réalisé une ANOVA afin de comparer entre eux les *bias index* mémorisation de chaque facteur (quiz et incitations stratégiques). Cette analyse indique un effet du facteur quiz, $F(1,80)$ = 9.509, p = .003, η^2p = .11, tel que les *bias index* des participants qui ont régulièrement bénéficié de quiz durant la session d'apprentissage sont significativement inférieurs à ceux des participants qui n'en n'ont pas reçu. En revanche, aucun effet du facteur incitations stratégiques n'est révélé par l'analyse $F(1,80)$ = 2.686, p = .110. Autrement dit, les *bias index* mémorisation du groupe « avec incitations stratégiques » ne se différencient significativement pas de ceux du groupe «sans incitation stratégique». Enfin, l'analyse ne montre aucun effet d'interaction entre les quiz et les incitations stratégiques, $F(1,80)$ = .309 p = .580 (voir Fig. 33).

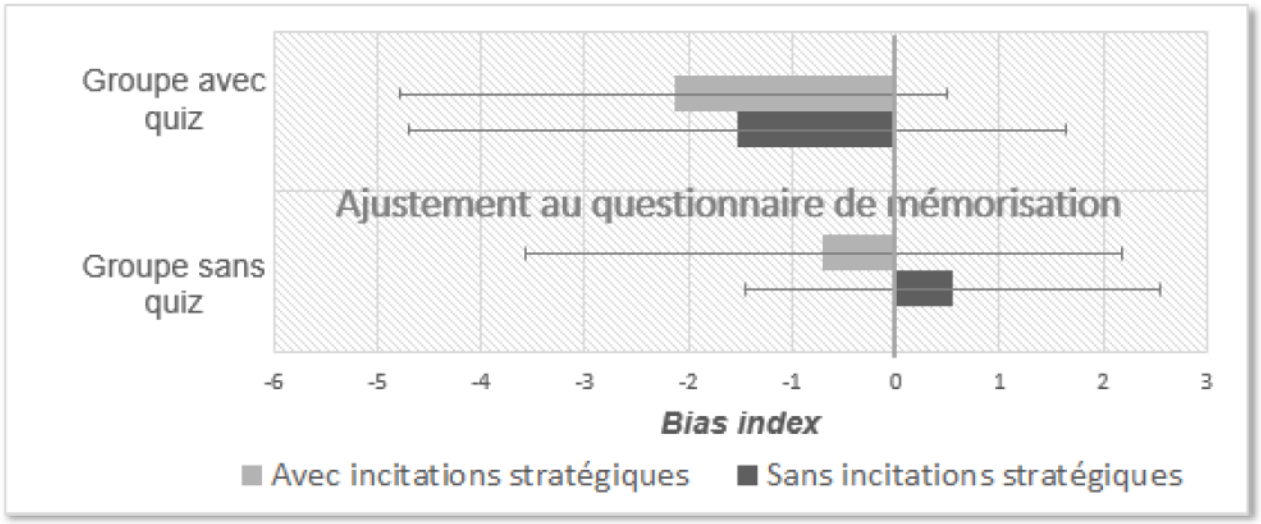


Fig. 33. Moyennes et écarts-types des *bias index* mémorisation pour chacun des groupes (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).

- *Bias index* transfert

Premièrement, les tests *t* pour échantillons uniques révèlent que les *bias index* transfert des groupes avec quiz, $t(42) = 17.280$, $p < .001$, et sans quiz, $t(42) = 25.973$, $p < .001$ et des groupes avec, $t(42) = 23.620$, $p < .001$, et sans incitations stratégiques, $t(42) = -18.156$, $p < .001$ sont supérieurs à la valeur référence 0. La performance que les étudiants estimaient avoir à une future évaluation était donc supérieure à leur performance réelle au questionnaire de transfert.

Deuxièmement, l'ANOVA ne révèle aucun effet principal du facteur quiz, ni du facteur incitations stratégiques. En d'autres termes, les *bias index* transfert du groupe « avec quiz » ne se différencient pas significativement de ceux du groupe « sans quiz ». Un profil similaire est observé pour les incitations stratégiques. De même, aucune interaction entre les quiz et les incitations stratégiques n'est observée (voir Fig. 34.).

Tableau 9. Moyennes et écarts-types des *bias index* mémorisation et transfert pour le facteur quiz (avec et sans) et pour le facteur incitations stratégiques (avec et sans).

Conditions expérimentales		*Bias index* mémorisation Moyenne(*SD*)	*Bias index* transfert Moyenne(*SD*)
Quiz	Avec	-1.83 (2.74)	7.78 (2.92)
	Sans	-0.07(2.53)	7.69 (1.92)
Incitations stratégiques	Avec	1.42 (2.92)	8.05 (2.21)
	Sans	-0.48 (2.55)	7.43 (2.65)

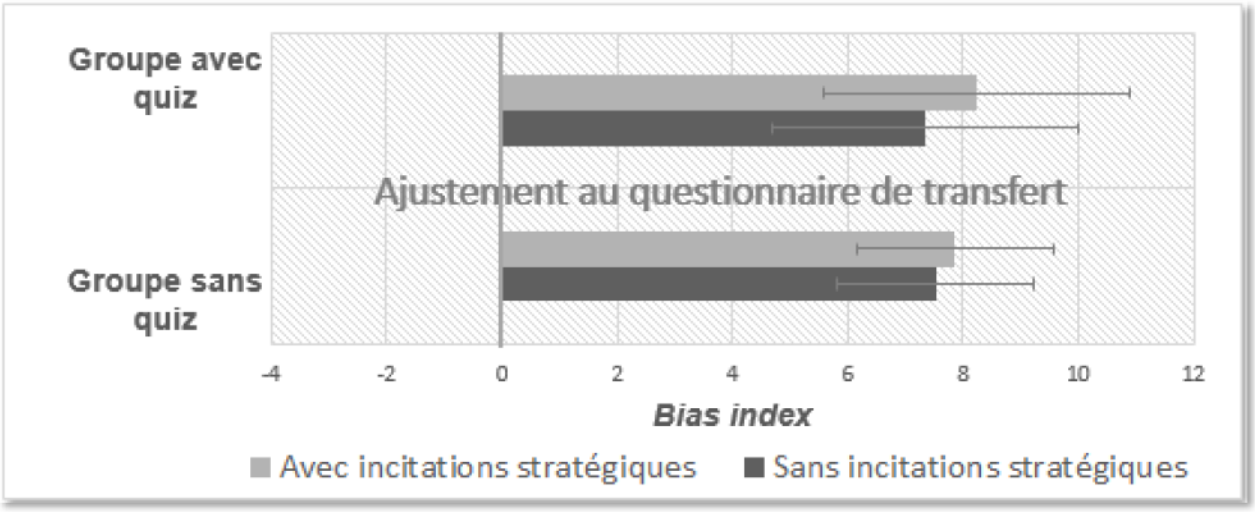


Fig. 34. Moyennes et écarts-types des *bias index* transfert pour chacun des groupes (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).

2.5. Identification des processus d'AAR efficaces

Afin de déterminer si les processus d'AAR sont liés aux performances de mémorisation et de transfert, des corrélations de Pearson ont été réalisées. Les corrélations sont présentées dans le Tableau 10. Cinq microprocessus d'apprentissage sont significativement liés aux scores obtenus au questionnaire de mémorisation : les jugements d'apprentissage, les *monitoring* brefs, les stratégies de résumé, de constructions de connaissances et de mémorisation. L'analyse de corrélations montre que trois microprocessus d'apprentissage sont significativement liés aux performances obtenues au questionnaire de transfert : les jugements d'apprentissage, les stratégies de résumé et de construction de connaissances.

Tableau 10. Corrélations entre les processus d'AAR et les performances obtenues aux questionnaires de mémorisation et de transfert.

	Mémorisation	Transfert
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	.29**	.41**
Monitoring bref	.41**	.17
Utilisation de stratégie		
Résumé	.63**	.49**
Construction de connaissances	.39**	.31**
Relecture	.08	-.02
Mémorisation	.28**	.08
Control	-.00	.00
Total AAR	.50**	.35**

** $p < .01$.

2.6. Effet des quiz et des incitations stratégiques sur l'AAR

Afin d'évaluer si les quiz et les incitations stratégiques ont un effet sur l'AAR, un test de rapport de vraisemblance a été réalisé pour chaque microprocessus (voir Tableau 11 pour les statistiques descriptives).

Tableau 11. Moyennes et écart-types *(SD)* du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).

	Sans incitations stratégiques		Avec incitations stratégiques	
Processus d'AAR	Sans quiz Moyenne (*SD*)	Avec quiz Moyenne (*SD*)	Sans quiz Moyenne (*SD*)	Avec quiz Moyenne (*SD*)
Monitoring				
JOL	3.29 *(5.82)*	3.90 *(7.22)*	3.47 *(3.66)*	7.43 *(6.19)*
Monitoring bref	19.90 *(20.34)*	18.38 *(16.41)*	28.90 *(22.16)*	34.62 *(19.60)*
Stratégies				
Résumé	10.71*(20.41)*	12.86 *(11.78)*	18.38 *(29.36)*	31.00 *(20.28)*
CC.[a]	6.43 *(7.37)*	6.95 *(8.68)*	6.19 *(4.76)*	11.38 *(6.77)*
Relecture	39.19 *(66.30)*	29.90 *(28.00)*	29.04 *(26.16)*	48.38 *(39.73)*
Mémorisation	1.00 *(1.79)*	1.14 *(1.82)*	1.38 *(2.31)*	3.57 *(4.83)*
Control	10.86 *(21.09)*	9.80 *(12.72)*	6.42 *(9.43)*	10.33 *(11.43)*
Total AAR	91.38 *(39.19)*	82.95 *(29.90)*	93.81 *(30.25)*	146.71 *(48.38)*

[a] CC. = Construction de connaissances

Comme nous nous y attendions, l'analyse révèle un effet principal des incitations stratégiques sur les microprocessus résumés (*LR* = 5.532, *p* = .019), mémorisations (*LR* = 4.863, *p* =.027) et *monitoring* brefs (*LR* = 5.510, *p* = .018) et sur le macroprocessus AAR total (*LR* = 4.223, *p* = .039) : les participants qui ont bénéficié des incitations stratégiques utilisent davantage ces processus que les participants qui n'ont pas reçu d'incitations stratégiques (voir Fig. 35). Un effet principal des quiz est également observé sur les jugements d'apprentissage (*LR* = 8.701, *p* = .013) et les constructions de connaissances (*LR* = 8.56, *p* = .011), tel que les participants des groupes avec quiz utilisent davantage ces deux microprocessus que les participants des groupes sans quiz (voir Fig. 36). Par ailleurs, l'analyse ne révèle pas d'effet principal pour la relecture et le *control*. Cependant, un effet d'interaction tendanciellement significatif *(LR* = 3.54, *p* = .056) est observé entre les quiz et les incitations stratégiques pour le microprocessus relecture. Plus

précisément, le nombre d'utilisations de relectures tend à être plus important lorsque les participants ont reçu des incitations stratégiques que lorsqu'ils n'en ont pas reçu et ce, d'autant plus si des quiz leur ont été préalablement présentés. Enfin, l'analyse révèle un effet d'interaction tendanciellement significatif entre les quiz et les incitations stratégiques pour le macroprocessus AAR total, $LR = 3.181$, $p = .074$, tel que le nombre d'utilisations de l'ensemble des microprocessus tend à être plus important dans le groupe avec incitations stratégiques que dans le groupe sans incitations stratégiques et ce, d'autant plus si les participant ont reçu au préalable des quiz. L'analyse n'indique aucun autre effet d'interaction.

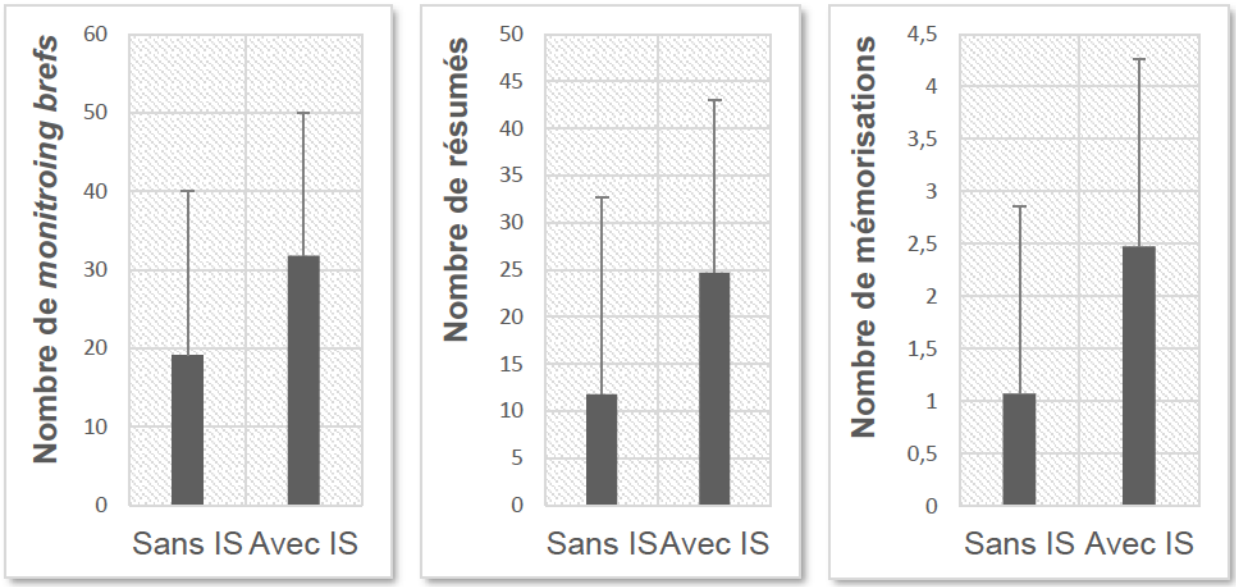


Fig. 35. Nombre de *monitoring* brefs (à gauche), de résumés (au centre), et de mémorisations (à droite) pour les participants bénéficiant d'incitations stratégiques (avec IS) ou non (sans IS).

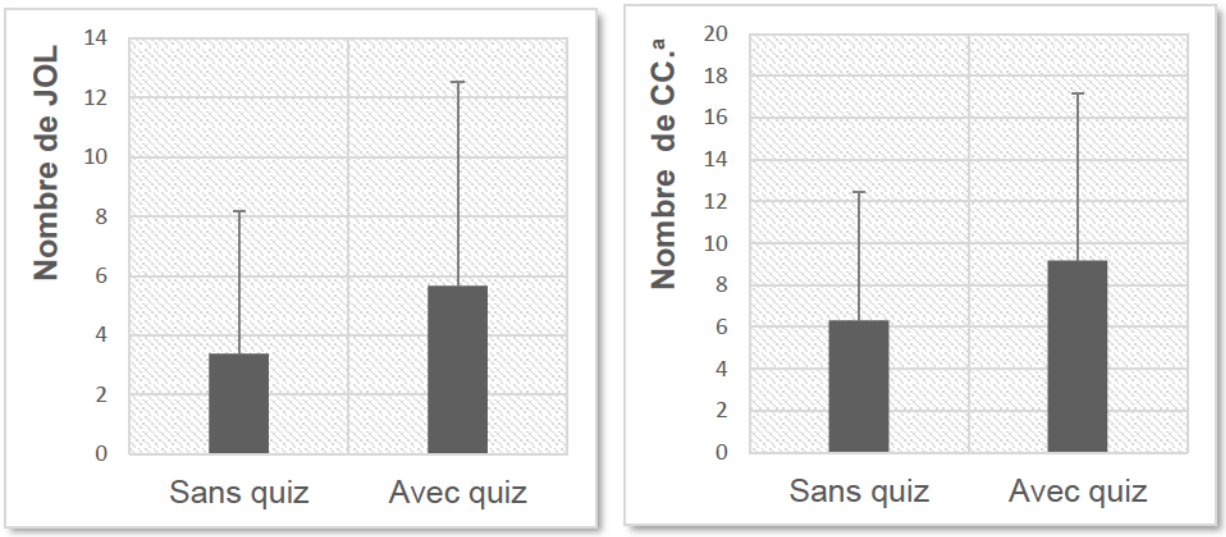


Fig. 36. Nombre de jugements d'apprentissage (JOL, à gauche), de constructions de connaissances (CC. à droite), pour les participants bénéficiant ou non de quiz.

2.7. Les processus d'AAR médiatisent-ils la relation entre les variables expérimentales et les performances d'apprentissage ?

- Analyse de médiation entre les quiz et les performances de mémorisation et de transfert

Afin d'évaluer si les effets obtenus par les quiz sur les performances de mémorisation sont expliqués par l'utilisation de processus d'AAR, nous avons réalisé une analyse de médiation. Comme nous nous y attendions, l'analyse révèle que les processus d'AAR médiatisent la relation entre les quiz et les performances obtenues au questionnaire de mémorisation, c'_{11} = .17 [0.03 ; 0.37]. Plus précisément, deux microprocessus médiatisent cette relation : les jugements d'apprentissage et les constructions de connaissances (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 12, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 37). Ce résultat montre que l'effet indirect des quiz sur les scores de mémorisation s'explique par une utilisation plus importante de l'AAR. De manière inattendue, l'analyse révèle également un effet direct des quiz sur les performances au questionnaire de mémorisation, c_{11} = .618, p < .001, 95% IC [0.29 ; 0.94]. Ce résultat suggère que les meilleures performances de mémorisation du groupe avec quiz par rapport au groupe sans quiz ne s'expliquent pas uniquement par une utilisation plus importante des processus d'AAR explorés dans cette étude.

Par ailleurs, l'analyse révèle également que les processus d'AAR médiatisent la relation entre les quiz et les performances obtenues au questionnaire de transfert, c'_{12}= .12 [0.02 ; 0.29]. Plus spécifiquement, les microprocessus de jugement d'apprentissage et de construction de connaissances médiatisent cette relation (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 12, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 37). Aucun effet direct n'est observé entre les quiz et les scores de transfert, c_{12} = .340, p = .09, 95% IC [-0.06 ; 0.44].

Tableau 12. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour le facteur quiz.

	Questionnaire de mémorisation		Questionnaire de transfert	
	Effet indirect estimé	BCa CI	Effet indirect estimé	BCa CI
Monitoring				
Jugement d'apprentissage	.07	[0.01 ; 0.19]	.09	[0.01 ; 0.24]
Monitoring bref	.03	[-0.10 ; 0.17]	.01	[-0.03 ; 0.14]
Utilisation de stratégies				
Résumé	.17	[-0.04 ; 0.42]	.14	[-0.04 ; 0.36]
Construction de connaissances	.11	[0.01 ; 0.26]	.09	[0.01 ; 0.28]
Relecture	.01	[-0.03 ; 0.11]	.00	[-0.12 ; 0.02]
Mémorisation	.05	[-0.01 ; 0.24]	.00	[-0.12 ; 0.06]
Control	.00	[-0.06 ; 0.04]	.00	[-0.04 ; 0.06]

- Analyse de médiation entre les incitations stratégiques et les performances de mémorisation et de transfert

Conformément à nos attentes, l'analyse révèle que les processus d'AAR médiatisent la relation entre les incitations stratégiques et les performances obtenues au questionnaire de mémorisation, c'_{21} = .21 [0.05 ; 0.45]. Plus précisément, deux microprocessus médiatisent

cette relation : les *monitoring* brefs et les résumés (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 13, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 37). Ce résultat montre que l'effet indirect des incitations stratégiques sur les scores de mémorisation s'explique par une utilisation plus importante de ces deux processus d'AAR. Aucun effet direct n'est observé entre les incitations stratégiques et les scores de mémorisation, c_{21} = .380, p = .072, 95% IC [-0.21 ; 0.64].

Par ailleurs, l'analyse révèle également que les processus d'AAR médiatisent la relation entre les incitations stratégiques et les performances obtenues au questionnaire de transfert, c'_{22} = .14 [0.03 ; 0.35]. Seul le microprocessus de résumé médiatise cette relation (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 13, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 37). Aucun effet direct n'est observé entre les incitations stratégiques et les scores de transfert, c_{22} = .174, p = .582, 95% IC [-0.23 ; 0.58].

Tableau 13. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour le facteur incitations stratégiques.

	Questionnaire de mémorisation		Questionnaire de transfert	
	Effet indirect estimé	BCa CI	*Effet indirect estimé*	BCa CI
Monitoring				
Jugement d'apprentissage	.06	[-0.01 ; 0.19]	.07	[-0.01 ; 0.25]
Monitoring bref	.19	[0.06 ; 0.42]	.07	[-0.06 ; 0.26]
Utilisation de stratégie				
Résumé	.30	[0.10 ; 0.54]	.25	[0.11 ; 0.44]
Construction de connaissances	.08	[-0.02 ; 0.21]	.07	[-0.02 ; 0.27]
Relecture	.01	[-0.02 ; 0.12]	.00	[-0.11 ; 0.02]
Mémorisation	.07	[-0.01 ; 0.24]	.00	[-0.12 ; 0.08]
Control	.00	[-0.04 ; 0.03]	.00	[-0.04 ; 0.03]

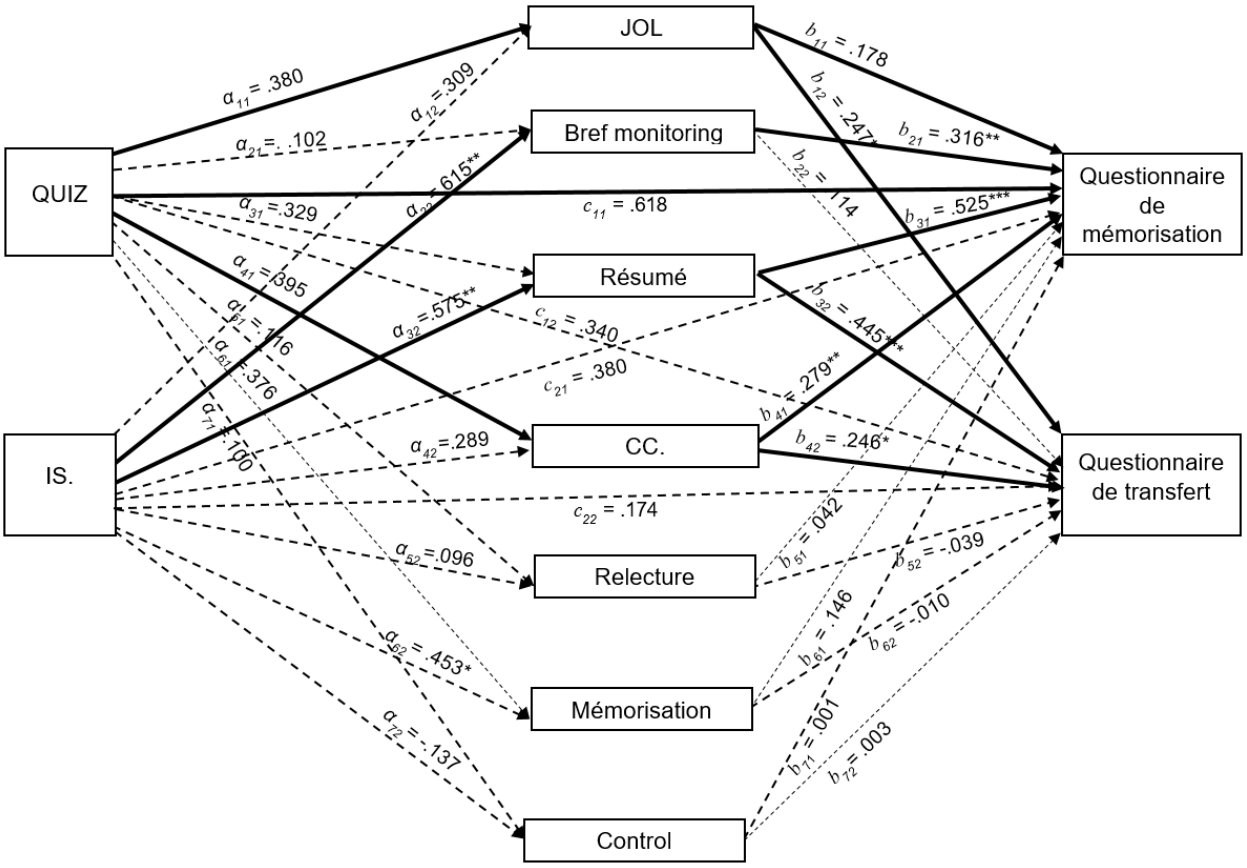


Fig. 37. Modèle des relations entre d'une part la présence de quiz et les performances de mémorisation et de transfert médiatisées par les processus d'AAR et d'autre part entre la présence d'incitations stratégiques (IS) et les performances de mémorisation et de transfert médiatisées par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés.

3. Discussion

L'objectif de cette troisième étude consistait à déterminer si les apprenants se conforment davantage aux incitations stratégiques proposées lorsque leur processus de *monitoring* est précis que lorsqu'il ne l'est pas. Autrement dit, il s'agissait de savoir si l'utilisation de tests d'entraînement peut favoriser les effets bénéfiques des incitations stratégiques. Globalement, nos résultats ont révélé un effet principal des quiz et un effet principal des incitations

stratégiques sur les performances au questionnaire de mémorisation. Toutefois, contrairement à nos attentes, aucun effet d'interaction n'a été constaté. Ces résultats suggèrent que les quiz et les incitations stratégiques auraient un effet distinct et complémentaire sur le processus mémorisation. Les analyses réalisées sur les processus d'AAR étayent cette hypothèse. En effet, nos résultats ont montré que les quiz et les incitations stratégiques favorisent le déploiement de processus d'AAR différents. Concernant les quiz, nos résultats répliquent globalement ceux des études 1 et 2. En effet, le fait d'utiliser des quiz a un effet significatif sur l'ajustement du *monitoring* et conduit les étudiants à utiliser plus de constructions de connaissances et de jugements d'apprentissage. L'analyse de médiation indique que ces changements sont, en partie, à l'origine des meilleures performances de mémorisation. Par ailleurs, cette analyse révèle également un effet direct des quiz sur les performances de mémorisation. Ce résultat inattendu et qui n'avait pas été observé dans les deux premières expériences suggère que l'ensemble des activités psychologiques responsables de l'effet des quiz sur la mémorisation n'a pas été capté par le protocole de verbalisation. Les travaux de Pastötter *et al.* (2011) ont montré que la puissance des ondes cérébrales alpha se maintient durant une tâche de mémorisation. Selon les auteurs, cette activation cérébrale traduit un maintien de l'attention au cours de ce type de tâche. De même, des étudiants qui sont régulièrement testés durant un apprentissage déclarent avoir moins de divagation de l'esprit que des étudiants qui ne bénéficient d'aucun test (Jing *et al.*, 2016). Par conséquent, dans notre étude, il est possible que les étudiants bénéficiant de quiz, aient maintenu leur attention tout au long de la tâche. Or, une attention plus soutenue chez les apprenants pourrait suffire à améliorer leur performance d'apprentissage et ce, même s'ils ne modifient pas leur activité stratégique.

Concernant les incitations stratégiques, aucun effet sur l'ajustement du *monitoring* n'a été révélé par l'analyse des *bias index.* Toutefois, nos résultats indiquent que les étudiants qui reçoivent des incitations stratégiques utilisent plus de résumés, de *monitoring* brefs et de stratégies de mémorisation que les étudiants qui n'en reçoivent pas. L'analyse de médiation montre que l'utilisation plus importante des stratégies de résumés et des *monitoring* brefs explique les meilleures performances de mémorisation. Cependant, les incitations stratégiques ont aussi conduit les apprenants à utiliser plus de stratégies de mémorisation et ce, même

si ces dernières ne sont pas corrélées aux performances d'apprentissage. Globalement, nos résultats corroborent les données d'études antérieures qui montrent que les participants suivent les consignes d'incitations stratégiques proposées et présentent de meilleures performances d'apprentissage (Bannert & Mengelkamp, 2013 ; Bannert *et al.*, 2015 ; Roelle, Hiller *et al.*, 2017 ; Sitzmann & Ely, 2010). En résumé, l'ensemble de ces résultats suggère que les quiz et les incitations stratégiques favorisent l'utilisation de processus d'AAR différents expliquant les meilleures performances de mémorisation. Autrement dit, les quiz et les incitations stratégiques ont des effets distincts et complémentaires sur l'activité d'apprentissage.

Par ailleurs, nos résultats ont révélé un effet d'interaction tendanciel entre les quiz et les incitations stratégiques pour les relectures et pour le macroprocessus AAR total. Autrement dit, les participants qui reçoivent des incitations stratégiques tendent à utiliser globalement plus de processus d'AAR que les participants qui n'en reçoivent pas et ce, d'autant plus si celles-ci sont précédées de quiz. Il est possible que les quiz et les incitations stratégiques aient respectivement eu un effet sur les processus de *monitoring* et de *control*. Selon le modèle de Winne et Hadwin (1998, 2008, 2013), ces deux processus métacognitifs sont interreliés et au cœur de la régulation de l'apprentissage. Le *monitoring* détecte l'écart entre l'objectif d'apprentissage et l'état cognitif actuel de l'apprenant. Le résultat de cette comparaison servira d'input au processus de *control* (Winne, 2011). Autrement dit, le processus de *monitoring* peut être envisagé comme un interrupteur activant ou désactivant le processus de *control*. Si un écart est détecté, une prise de décision sera réalisée par le processus de *control* pour maintenir ou modifier l'activité d'apprentissage. Cette prise de décision est effectuée sur la base des connaissances stratégiques stockées dans la librairie métacognitive (Nelson & Narens, 1990, 1994). Or, comme le soulignent Pressley et Hilden (2007), certains apprenants ne disposent pas des connaissances nécessaires pour adapter efficacement leur activité d'apprentissage. Par conséquent, une activité de *monitoring* fréquente et précise est essentielle mais pas suffisante pour un AAR efficace (Ariel, 2013 ; Binbaşaran-Tüysüzoğlu & Greene, 2015 ; Nelson & Leonesio, 1988 ; Roelle, Schmidt, *et al.*, 2017 ; Thiede *et al.*, 2017). En effet, le résultat de la comparaison effectuée par le processus de *monitoring* doit pouvoir générer une activité stratégique adaptée. Dans notre étude, le fait d'associer les quiz avec des incitations stratégiques pourrait amener les étudiants à

déployer des stratégies qu'ils n'auraient pas spontanément utilisées. Cette interprétation a pour corollaire que sans l'activation du processus de *control* par les quiz, les incitations stratégiques auraient pu être ignorées par certains étudiants. Ainsi, procurer des quiz avant des instructions stratégiques, pourrait favoriser leur prise en compte par les apprenants. Toutefois, au vu de nos résultats tendanciels, d'autres études sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse. Par ailleurs, les incitations stratégiques utilisées dans notre étude étaient composées de six questions qui incitaient chacune à une activité stratégique spécifique. Aussi, nos résultats ne permettent pas de définir clairement si la modification de l'AAR résulte d'incitations stratégiques particulières ou de leur combinaison.

Enfin, les résultats de nos trois premières expériences n'ont pas révélé d'effet des tests d'entraînement sur les performances de compréhension (questionnaire de transfert). Jusqu'à présent, l'ensemble de nos résultats a montré que, lorsque des tests d'entraînement sont donnés aux étudiants, leur processus de *monitoring* était le plus souvent ajusté à leur niveau de mémorisation (analyses des *bias index* mémorisation) mais jamais à leur niveau de compréhension (analyses des *bias index* transfert). Ceci a conduit les étudiants à mettre en œuvre un AAR adapté à un objectif de mémorisation et non de compréhension. Par exemple, dans nos trois études, les étudiants qui ont régulièrement reçu des quiz n'ont jamais utilisé plus de stratégies de résumés que les étudiants qui n'en n'ont pas reçu. Or, nos résultats ont montré que cette stratégie de résumé est en lien avec les performances au questionnaire de transfert (expériences 1 et 3). Autrement dit, en référence au modèle de Kintsch (1998), le format et les exigences de nos tests d'entraînement pourraient avoir incité les étudiants à construire une représentation de surface plutôt qu'un modèle de situation. Toutefois, lorsque les tests d'entraînement sont suivis d'incitations stratégiques, des résultats proches du seuil de significativité sont observés sur les performances au questionnaire de transfert. Par ailleurs, l'analyse de médiation indique un effet indirect des deux variables expérimentales (quiz et incitations stratégiques) sur les performances au questionnaire de transfert via l'utilisation de stratégies de résumé, de constructions de connaissances et de jugements d'apprentissage. Aussi, nous avons réalisé une quatrième étude au cours de laquelle nous avons conçu des tests d'entraînement qui visent 1) à ajuster le processus de *monitoring* à un objectif de

compréhension et 2) à conduire les étudiants à utiliser davantage de processus en lien avec les performances au questionnaire de transfert.

CHAPITRE 7 - Expérience 4 : L'effet de tests d'entraînement à l'enseignement sur la précision du *monitoring*, l'AAR et la compréhension

Comprendre un document multimédia scientifique nécessite de sélectionner et mémoriser les informations pertinentes, de lier entre elles chacune de ces informations et de les intégrer avec les connaissances antérieures (Britt *et al.*, 2014 ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Mayer, 1989b ; Schnotz, 2002, 2005 ; Wittrock, 1974/2010, 1978). Autrement dit, la compréhension d'un document multimédia repose sur la construction d'un modèle mental cohérent du phénomène scientifique étudié (e.g., Mayer, 2009). Cette activité se réalise via l'utilisation de stratégies d'apprentissage dites de haut niveau. L'élaboration de ce modèle mental permettra alors à l'apprenant de raisonner et de transférer ses connaissances à de nouvelles situations. Selon Thiede *et al.* (2009) de nombreux étudiants apprennent un texte de la même façon qu'ils apprendraient une liste de mot, c'est-à-dire comme une collection d'informations sans lien les unes avec les autres. Ainsi, lorsqu'il est demandé à des étudiants d'estimer leur degré de compréhension d'un texte, ces derniers se baseraient davantage sur leur représentation de surface que sur leur modèle de situation (pour une discussion voir Thiede *et al.*, 2009). Les apprenants, en basant leurs normes d'apprentissage sur un objectif de mémorisation, engageraient donc peu d'effort pour organiser et intégrer les informations, ce qui expliquerait leur difficulté à construire une représentation structurée du document.

Différents outils ont été utilisés dans la littérature afin d'amener les étudiants à s'appuyer sur leur modèle de situation pour produire leur estimation de compréhension. Dans cette perspective, il est possible de demander aux étudiants, suite à la lecture d'un texte, d'identifier des mots-clés (e.g., Thiede *et al.,* 2005), de réaliser des résumés (e.g., Anderson & Thiede, 2008 ; Thiede & Anderson, 2003) ou encore de s'auto-expliquer le texte lu (e.g., Fukaya, 2013 ; Griffin *et al.*, 2008 ; McNamara & Magliano, 2009a). Selon les auteurs, la réalisation de ces tâches nécessiterait de récupérer en mémoire une représentation structurée du texte. Ainsi, la capacité à résumer et expliquer procurerait à l'apprenant un indice objectif sur la qualité de sa

compréhension du texte lu. L'utilisation de ces différents outils s'accompagne d'une amélioration dans la précision des estimations de compréhension (e.g., Anderson & Thiede, 2008 ; Fukaya, 2013 ; Griffin *et al.*, 2008 ; Thiede & Anderson, 2003 ; Thiede *et al.*, 2005). Ces activités de résumé et d'explication d'une information sont régulièrement utilisées par les enseignants. Ainsi, ces travaux laissent supposer qu'enseigner une information précédemment apprise permettrait de réajuster la norme d'apprentissage sur un objectif de compréhension. À notre connaissance, l'effet d'une tâche d'enseignement sur la précision du *monitoring* n'a jamais été étudié. En revanche, de nombreux travaux ont étudié si le fait d'enseigner des informations précédemment apprises améliore les performances d'apprentissage (e.g., De Backer *et al.*, 2012 ; Fiorella & Mayer, 2013, 2014 ; Muis *et al.*, 2016 ; Palinscar & Brown, 1984). Ces travaux ont montré que des individus qui apprenaient des notions en vue de les enseigner (e.g., Fiorella & Mayer, 2013 ; Muis *et al.,* 2016) et enseignaient ensuite ces notions (e.g., De Backer *et al.*, 2012 ; Fiorella & Mayer, 2013, 2014) obtenaient de meilleures performances de mémorisation et de compréhension que des individus qui ont seulement pour consigne d'apprendre ces mêmes notions. Selon Fiorella et Mayer (2013), apprendre pour enseigner pourrait inciter les individus à utiliser des processus de sélection, d'organisation et d'intégration. Toutefois, dans ces différentes études, la consigne d'apprendre pour enseigner était souvent donnée au début de l'expérience. Les apprenants expérimentaient l'activité d'enseignement uniquement à la fin de la session d'apprentissage mais jamais au cours de celle-ci. Par conséquent, à aucun moment les apprenants pouvaient déterminer si leur activité d'apprentissage était adaptée à l'exigence de cette tâche d'enseignement.

L'objectif de cette dernière expérience est double. Premièrement, il s'agit d'évaluer si des tests d'entraînement à l'enseignement amènent les étudiants à ajuster leur estimation sur la base de leur modèle de situation plutôt que sur la qualité de leur représentation de surface. Deuxièmement, il s'agit de déterminer si ces tests incitent les étudiants à déployer un AAR adapté à un objectif de compréhension. Pour ce faire, nous avons élaboré une interface de tests d'entraînement à l'enseignement au cours de laquelle les participants devaient restituer et expliquer chacun des paragraphes et illustrations comme s'ils les enseignaient à des pairs. La tâche des participants consistait à apprendre le même document multimédia que dans les

expériences 2 et 3. Pour la moitié des participants, ces tests d'enseignement étaient intercalés entre chacun des chapitres de l'ENA. L'autre moitié des participants ne recevait aucun test pendant la session d'apprentissage. La précision du *monitoring*, la qualité de l'AAR et les performances de mémorisation et de compréhension ont été évaluées. Nous faisons l'hypothèse que les étudiants qui reçoivent régulièrement des tests d'entraînement à l'enseignement devraient obtenir de meilleures performances de mémorisation et de compréhension que des étudiants ne bénéficiant pas de ces tests. En outre, cette amélioration de performances devrait 1) être associée à des estimations de performance à une future évaluation ajustées aux performances réelles de transfert plutôt qu'aux performances réelles de mémorisation et 2) s'expliquer par une utilisation plus importante de processus d'AAR et notamment de stratégies de résumés. Autrement dit, nous supposons que les tests d'entraînement à l'enseignement pourraient avoir un effet indirect sur la compréhension des participants.

1. Méthode

1.1. Participants

Cinquante-six étudiants (44 femmes et 12 hommes) inscrits en première année de psychologie et âgés en moyenne de 20.04 ans (*SD* = 1.09, étendue = 18 à 22 ans) ont participé à cette étude. Les participants ont été recrutés dans le cadre de leur formation. Les participants étaient titulaires d'un baccalauréat à série technologique (*n* = 15), économique et sociale (*n* = 14), littéraire (*n* = 10), scientifique (*n* = 12) ou professionnel (*n* = 4). La moitié des participants a été répartie dans le groupe « avec tests d'entraînement à l'enseignement » (*n* = 28) et l'autre moitié dans le groupe contrôle (*n* = 28). Aucun participant n'a été retiré de l'échantillon.

1.2. Conception des tests d'enseignement

Les tests d'enseignement ont été proposés à partir d'une interface répliquant la structure graphique de chaque chapitre. Dans cette interface, les diagrammes étaient toujours présents alors que le contenu textuel n'apparaissait plus. Chaque paragraphe ou légende étaient remplacés par un encart blanc. Lorsque les étudiants arrivaient sur cette interface, l'encart recouvrant le premier paragraphe ou le schéma du chapitre était mis en saillance (voir Fig. 38). La tâche des étudiants consistait alors à restituer et à expliquer les informations textuelles

masquées. Une fois que les participants jugeaient avoir expliqué ce qu'ils avaient compris du paragraphe, ils devaient cliquer sur un bouton et répéter cette même procédure pour le paragraphe suivant et ce, jusqu'au dernier paragraphe. Puis, les participants devaient restituer et expliquer les éléments de chaque schéma présenté. Aucun *feedback* correctif n'était donné aux étudiants.



Fig. 38. Exemples de diapositives utilisées dans le test d'enseignement.

1.3. Matériel, mesures et procédure

Le matériel utilisé et les mesures réalisées dans cette expérience étaient identiques à ceux de l'étude précédente. La procédure expérimentale était également similaire à celle de l'expérience 3 (voir Fig. 39). Cependant, dans la mesure où les tests d'enseignement ne procuraient aucune information aux participants le groupe contrôle ne recevait pas les tests à la fin de la session d'apprentissage.

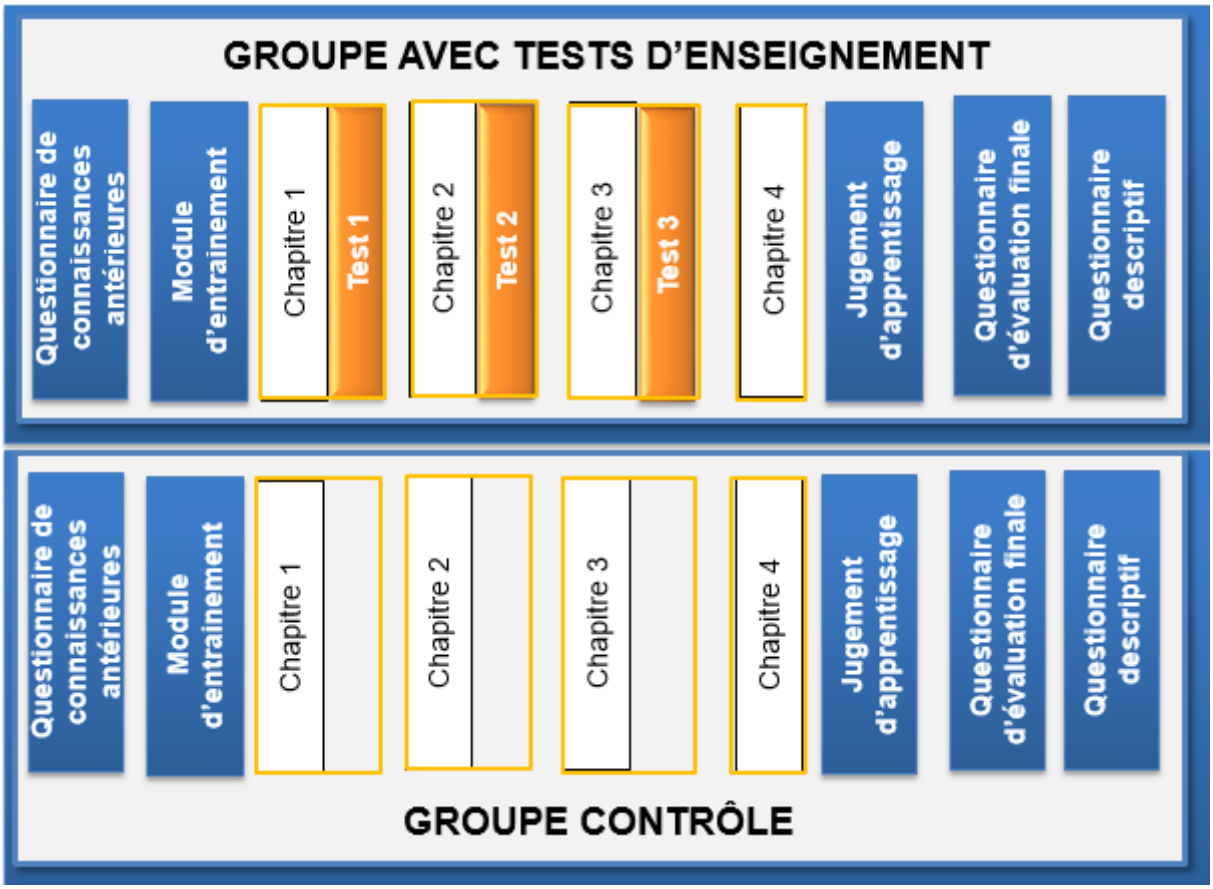


Fig. 39. Protocole expérimental pour le groupe « avec tests d'enseignement » et pour le groupe contrôle.

1.4. Codage des processus de régulation

Au total, 1151 minutes (soit 19,19h) de verbalisations ont été enregistrées. L'analyse des processus d'AAR a été réalisée à partir de la même grille de codage et de la même procédure que dans les expériences précédentes. 9559 segments ont ainsi été codés pour les 56 participants de cette étude. Une ingénieure de recherches a réalisé le double codage sur 40,79% des données (soit 3899 segments). Le même entraînement que celui décrit dans l'expérience 1 lui a été proposé. L'accord inter-juge était de 93,87% (soit un accord entre les juges sur 3660 segments). Les désaccords étaient résolus par la discussion.

Les microprocessus ayant été utilisés en moyenne moins de deux fois durant la passation n'ont pas été intégrés dans les analyses. Ainsi, sept microprocessus ont été retirés : le sentiment

de savoir, les jugements d'intérêt, l'évaluation du contenu, la difficulté de la tâche, les inférences, l'auto-questionnement et l'activation des connaissances antérieures.

1.5. Analyse des données

Les analyses réalisées dans cette étude étaient identiques à celles effectuées dans l'étude.

2. Résultats

2.1. Questionnaire de connaissances antérieures

Afin de nous assurer que les participants des deux groupes ne se différencient pas quant à leurs connaissances préalables en neurosciences, nous avons comparé leurs scores obtenus au questionnaire de connaissances antérieures à partir d'un test de *t* de Student. L'analyse ne révèle aucune différence significative entre les participants du groupe tests d'entraînement à l'enseignement (M = 0.11, SD = 0.08) et les participants du groupe contrôle (M = 0.14, SD = 0.42), $t(54) = 0.309$, $p = .759$.

2.2. Effet des tests sur les performances d'apprentissage

- Performances au questionnaire de mémorisation

Afin d'évaluer si les performances au questionnaire de mémorisation varient en fonction de la présence des tests (avec ou sans), un test *t* de Student a été réalisé. Comme nous pouvons le voir sur la figure 40, ce test révèle que les performances de mémorisation du groupe avec test (M = 14.58 ; SD = 4.82) sont significativement supérieures à celles du groupe contrôle (M = 7.85 ; SD = 4.58), $t(54) = 5.351$, $p < .001$, $\eta^2p = .342$ (voir Fig. 40).

- Performances au questionnaire de transfert

Un test de rapport de vraisemblance a été effectué afin de déterminer si la moyenne des scores de transfert du groupe test se différencie significativement de celle du groupe contrôle. Comme nous nous y attendions, l'analyse indique que le groupe avec test obtient de meilleures performances au questionnaire de transfert (M = 2.32 ; SD = 1.61) que le groupe contrôle (M = 1.14 ; SD = 1.33), $LR = 11.454$, $p < .001$ (voir Fig. 40).

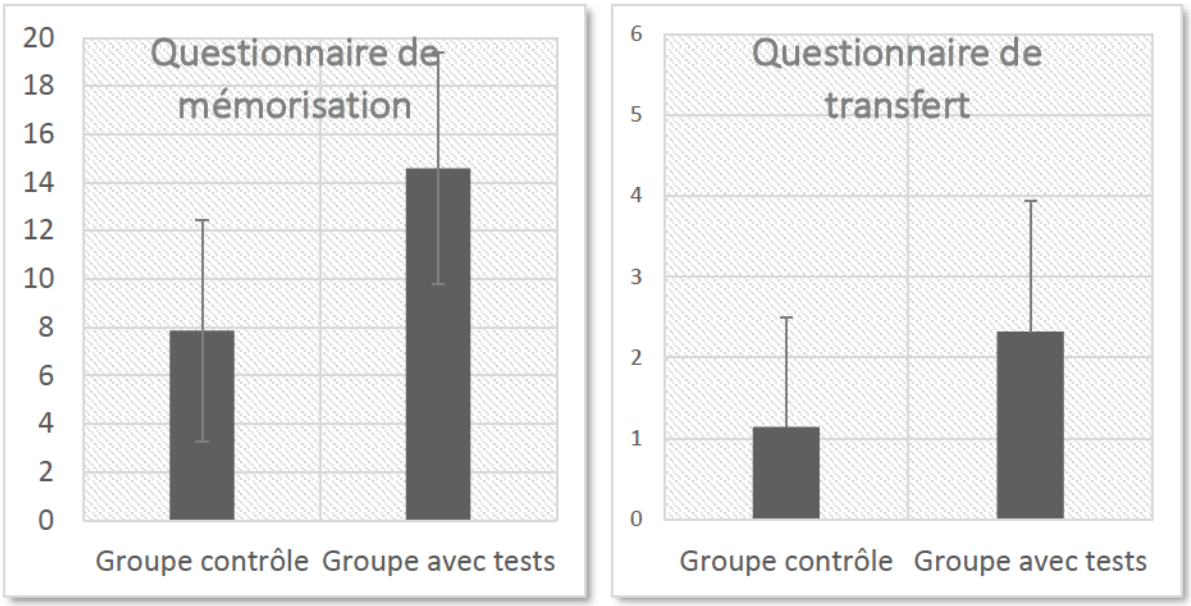


Fig. 40. Moyennes et écarts-types des performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert pour chaque groupe expérimental (avec tests et sans test).

2.3. L'effet des tests sur la calibration du *monitoring*

- *Bias index* mémorisation

Afin de mesurer la qualité de l'ajustement de l'estimation des participants à leurs performances réelles de mémorisation, nous avons comparé, à partir d'un test *t* pour échantillons uniques, les *bias index* mémorisation de chaque groupe à la valeur optimale de zéro. Cette analyse révèle que les *bias index* mémorisation du groupe contrôle (M = 1.23, SD = *4.06*) ne se différencient significativement pas de zéro, $t(27) = 1.607$, $p = .12$. Ce résultat suggère que l'estimation de performance des participants du groupe contrôle est ajustée à leur performance réelle de mémorisation. En revanche, les *bias index* mémorisation du groupe avec tests d'enseignement (M = -7.28, SD = 3.39) sont significativement inférieurs à zéro, $t(27) = -11.362$, $p < .001$, ce qui suggère que les participants qui reçoivent ce type de tests sous-estiment leurs performances réelles au questionnaire de mémorisation.

Par ailleurs, nous avons comparé entre eux les *bias index* mémorisation des deux groupes (avec tests et sans test) à partir d'un test *t* de Student pour échantillons indépendants. Ce test

montre que le *bias index* mémorisation du groupe avec tests se différencie significativement de celui du groupe contrôle, $t(54) = -8.519$, $p < .001$ (voir Fig. 41).

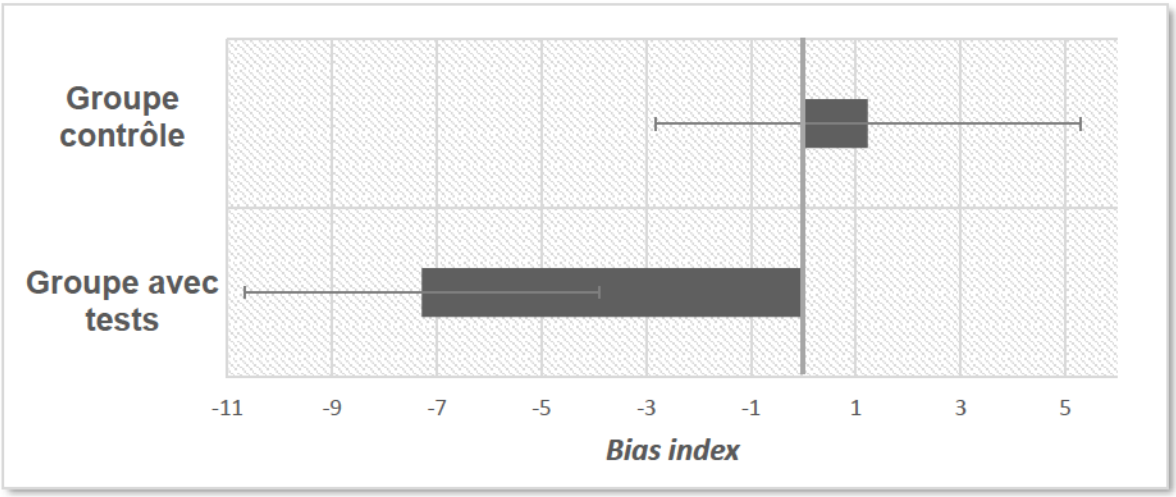


Fig. 41. Moyennes et écarts-types des *bias index* mémorisation pour chacun des groupes (avec tests et sans test).

- *Bias index* transfert

Comme nous nous y attendions, les tests *t* pour échantillons uniques révèlent que les *bias index* transfert des participants du groupe avec tests ($M = -0.43$, $SD = 4.12$) ne se différencient pas significativement de la valeur 0, $t(27) = -.558$, $p = .582$. Ce résultat indique que l'estimation de performance à une évaluation future des participants qui reçoivent régulièrement des tests d'enseignement est ajustée à leurs performances réelles au questionnaire de transfert. En revanche, l'analyse révèle que les *bias index* transfert du groupe contrôle ($M = 5.28$, $SD = 3.95$) sont significativement supérieurs à la valeur 0, $t(27) = 7.067$, $p < .001$, ce qui indique que les participants qui ne bénéficient pas des tests d'enseignement surestiment leur performance future par rapport aux performances réelles au questionnaire de transfert

Par ailleurs, le test *t* de Student pour échantillons indépendants révèle que le *bias index* transfert du groupe avec tests est significativement différent de celui du groupe contrôle, $t(54) = -5.293$, $p < .001$, (voir Fig. 42), ce qui confirme que les tests d'enseignement ont un effet sur l'ajustement du processus de *monitoring*.

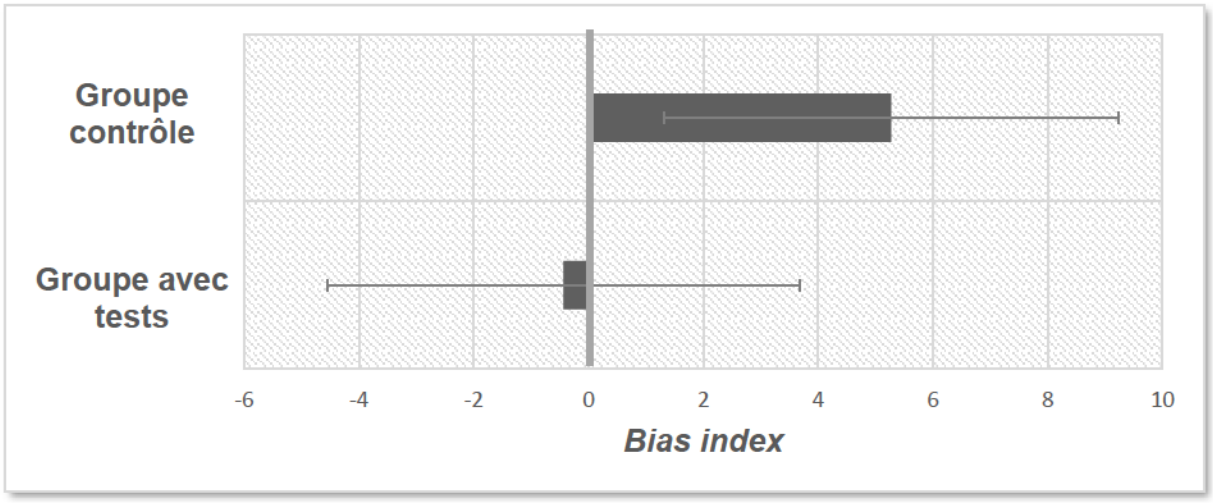


Fig. 42. Moyennes et écarts-types des *bias index* transfert pour chacun des groupes (avec tests et sans test).

2.4. Identification des processus d'AAR efficients

Des corrélations de Pearson entre chaque processus d'AAR et les performances de transfert et de mémorisation ont été réalisées (Tableau 14). Cette analyse des corrélations révèle que tous les processus d'AAR sont significativement liés aux scores obtenus au questionnaire de mémorisation. Par ailleurs, cinq microprocessus d'apprentissage sont significativement liés aux performances obtenues au questionnaire de transfert : les *monitoring* brefs, les résumés, les constructions de connaissances, les relectures et le processus de *control*.

Tableau 14. Corrélations entre les processus d'AAR et les performances au questionnaire de mémorisation et de transfert.

	Mémorisation	Transfert
Monitoring		
Judgment d'apprentissage	.27*	.15
Monitoring Bref	.25*	.23*
Strategy use		
Résumé	.60**	.40**
Construction de connaissances	.36**	.40**
Relecture	.56**	.29*
Mémorisation	.24*	.13
Control	.25*	.24*
Total AAR	.61**	.40**

* $p < .05$. ** $p < .01$.

2.5. Effet des tests sur les processus d'AAR

Afin d'évaluer si les tests d'enseignement ont eu un effet sur l'AAR, un test de rapport de vraisemblance a été réalisé pour chaque microprocessus (voir Tableau 15 pour les statistiques descriptives). Comme nous nous y attendions, l'analyse montre que les étudiants bénéficiant des tests d'enseignement utilisent significativement plus de résumés (*LR* = 21.013, $p < .001$), de constructions de connaissances (*LR* = 4.749, $p = .029$), de relectures (*LR* = 9.126, $p = .003$) et de mémorisation (*LR* = 8.461, $p = .004$) que les participants du groupe contrôle (voir Fig. 43). De même, une augmentation tendanciellement significative est observée sur les processus métacognitifs de jugement d'apprentissage (*LR* = 3.434, $p = .063$), *monitoring* brefs (*LR* = 2.927, $p = .087$) et *control* (*LR* = 3.447, $p = .063$).

Tableau 15. Moyennes et écart-types *(SD)* du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (avec tests et sans test).

Processus AAR	Groupe contrôle Moyenne (*SD*)	Groupe avec test Moyenne (*SD*)
Monitoring		
Jugement d'apprentissage	2.21 *(3.98)*	5.57 *(9.74)*
Monitoring bref	12.5 *(14.04)*	21.86 *(27.64)*
Stratégies d'apprentissage		
Résumé	6.54 *(11.47)*	38.61 *(38.85)*
Construction de connaissances	3.61 *(4.55)*	7.86 *(9.02)*
Relecture	29.39 *(35.71)*	74.39 *(63.89)*
Mémorisation	1.46 *(1.75)*	5.39 *(8.52)*
Control	1.11 *(2.57)*	5.93 *(20.42)*
Total AAR	60.75 *(47.24)*	155.68 *(120.10)*

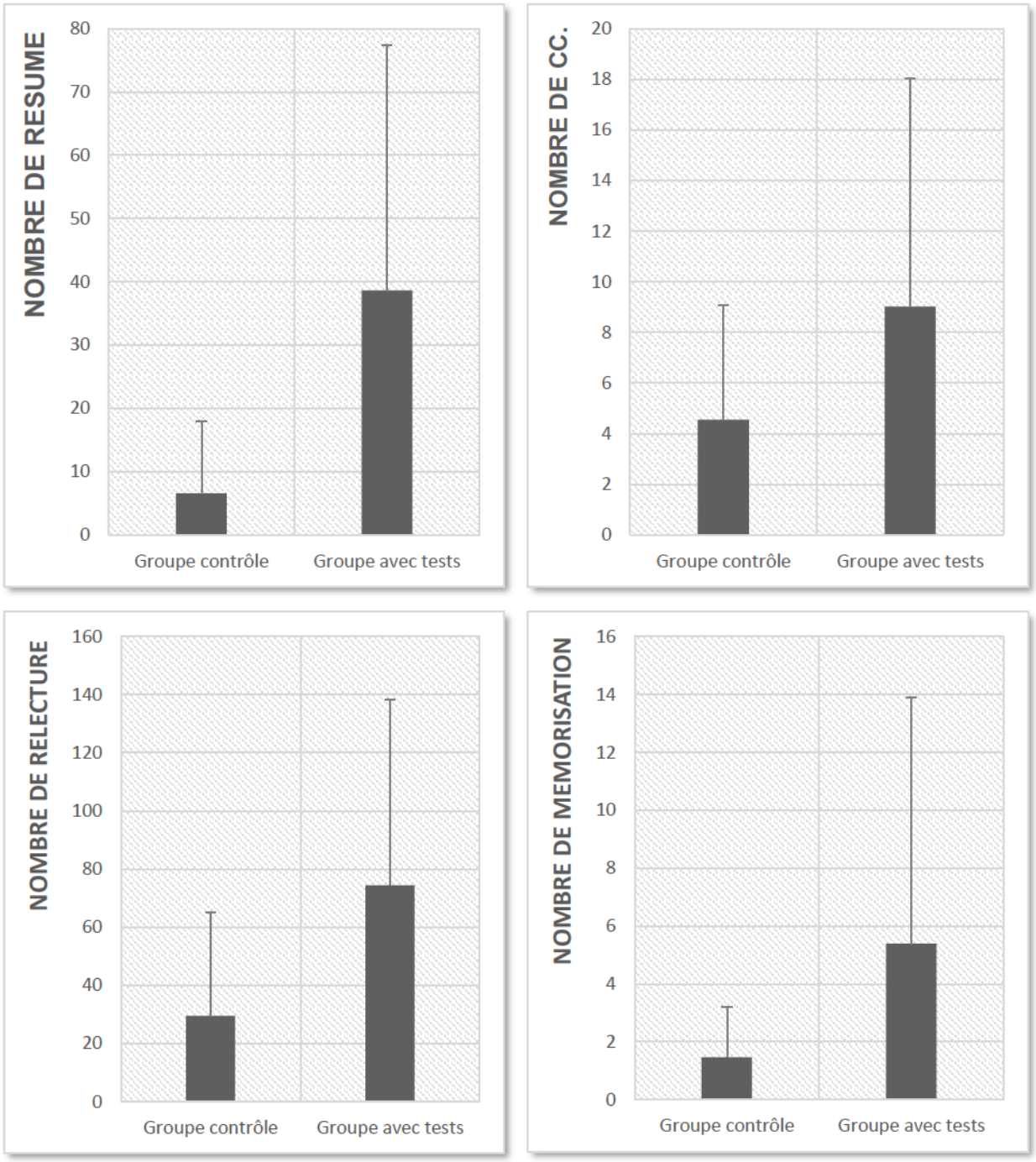


Fig. 43. Moyennes et écarts-types du nombre d'utilisations de résumés, constructions de connaissances (CC.), relectures et mémorisationz chacun des groupes (avec tests et contrôle).

2.6. L'effet bénéfique des tests sur la mémorisation et la compréhension peut-il s'expliquer par un meilleur AAR ?

Premièrement, nous avons réalisé une analyse de médiation afin d'évaluer si les effets obtenus par les tests d'enseignement sur les performances de mémorisation sont expliqués par l'utilisation de processus d'AAR. Cette analyse n'indique aucun effet direct des tests sur les performances au questionnaire de mémorisation, c_1 = .522, p = .071, 95% *BCa IC* [-0.05 ; 1.09]. En revanche, un effet indirect des tests d'enseignement sur les performances obtenues au questionnaire de mémorisation via l'utilisation de l'ensemble des processus d'AAR est observé, c'_1 =.673, 95% *BCa IC* [0.27 ; 1.04]. Plus spécifiquement, deux microprocessus médiatisent cette relation entre les tests d'enseignement et les performances de mémorisation : les résumés et les relectures (voir Tableau 16 pour les indicateurs statistiques).

Deuxièmement, une analyse de médiation a été réalisée afin de déterminer si les effets obtenus par les tests d'enseignement sur les performances de transfert sont expliqués par l'utilisation de processus d'AAR. Cette analyse ne révèle aucun effet direct des tests sur les performances au questionnaire de transfert, c_2 = .670, p = .141, 95% *BCa IC* [-0.24 ; 1.58]. Comme nous nous y attendions, l'analyse révèle un effet indirect des tests d'enseignement sur les performances obtenues au questionnaire de transfert via l'ensemble des processus d'AAR c'_2 = .719, 95% *BCa IC* [0.05 ; 1.30]. Plus précisément, la relation entre les tests d'enseignement et les performances de transfert est médiatisée par l'utilisation de stratégies de résumés (pour les indicateurs statistiques voir Tableau 16, pour une représentation résumant les résultats des analyses de médiation, voir Fig. 44).

Tableau 16. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour les performances au questionnaire de mémorisation et de transfert.

	Questionnaire de mémorisation		Questionnaire de transfert	
	Effet indirect estimé	BCa CI	*Effet indirect estimé*	BCa CI
Monitoring				
Jugement d'apprentissage	.09	[-0.02 ; 0.21]	.05	[-0.18 ; 0.30]
Monitoring bref	.06	[-0.03 ; 0.28]	.10	[-0.06 ; 0.38]
Utilisation de stratégie				
Résumé	.49	[0.08 ; 0.96]	.49	[0.08 ; 0.96]
Construction de connaissances	.17	[-0.01 ; 0.41]	.26	[-0.01 ; 0.67]
Relecture	.38	[0.13 ; 0.69]	.21	[-0.09 ; 0.58]
Mémorisation	.06	[-0.07 ; 0.21]	.02	[-0.24 ; 0.22]
Control	.06	[-0.08 ; 0.20]	.14	[-0.18 ; 0.38]

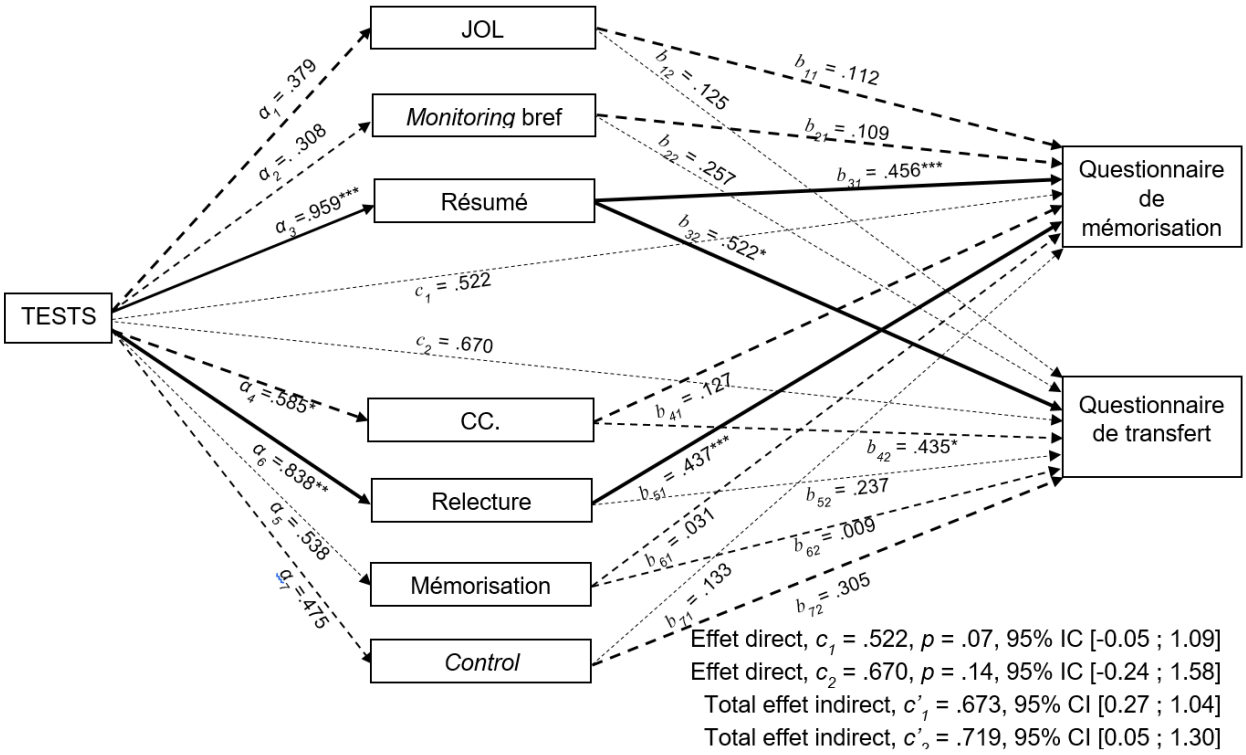


Fig. 44. Modèle de la relation entre la présence de tests d'enseignements et les performances obtenues aux questionnaires de mémorisation et de transfert médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés.

3. Discussion

Cette dernière étude avait un double objectif. Tout d'abord, il s'agissait d'évaluer si des étudiants bénéficiant de tests d'entraînement à l'enseignement baseraient leur estimation de performance à une future évaluation sur leur modèle de situation plutôt que sur la qualité de leur représentation de surface. Par ailleurs, il s'agissait de déterminer si ce type de tests amènerait les étudiants à traiter activement le document multimédia à partir de stratégies adaptées à l'élaboration d'un modèle mental. Nous avions formulé hypothèse selon laquelle les participants bénéficiant de tests d'entraînement à l'enseignement obtiendraient de meilleures performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert. Par ailleurs, nous nous attendions à ce

que cette amélioration s'accompagne d'un meilleur ajustement des estimations de performances aux scores obtenus au questionnaire de transfert ainsi que d'une utilisation de processus AAR plus adaptée aux exigences de ce questionnaire.

Nos résultats confirment notre hypothèse et montrent que les participants bénéficiant de ce type de tests ont obtenu de meilleures performances au questionnaire de transfert et de mémorisation que les participants ne bénéficiant pas de ces tests. L'amélioration des performances au questionnaire de mémorisation dans le groupe avec test était par ailleurs nettement plus importante dans cette étude que dans les trois premières. En effet, dans cette dernière étude, les participants qui ont reçu des tests d'enseignement ont obtenu un score deux fois plus élevé que celui des participants ne bénéficiant pas de ces tests. Nos résultats révèlent que cette amélioration des performances s'explique par un réajustement important des processus de *monitoring* et d'AAR chez les participants qui ont réalisé les tests d'enseignement. Comme le montre l'analyse des *bias index*, les estimations des participants du groupe avec tests étaient ajustées à leurs scores réels obtenus au questionnaire de transfert et non à leurs scores réels de mémorisation. Ce résultat suggère que ces participants ont estimé leur performance à venir sur la base de leur modèle de situation plutôt que sur celle de leur représentation de surface. Autrement dit, les étudiants se sont appuyés sur leur capacité à enseigner l'information pour prédire leur future performance. Par ailleurs, nos résultats montrent que les participants qui ont bénéficié des tests d'enseignement ont utilisé plus de stratégies d'apprentissage de résumé, de construction de connaissances, de relecture et de mémorisation que les participants du groupe contrôle. L'analyse de médiation révèle que les stratégies de résumé et de relecture expliquent les scores obtenus aux questionnaires de mémorisation. En outre, l'utilisation de stratégie de résumé explique les performances au questionnaire de transfert.

De nombreux travaux ont révélé que le fait de donner une consigne d'enseignement, au début d'une session d'apprentissage, améliore les performances de mémorisation et de compréhension des étudiants. En revanche, peu de travaux ont étudié les processus cognitifs et métacognitifs sous-tendant ces améliorations de performances (De Backer *et al.*, 2012 ; Muis *et al.*, 2016). Fiorella et Mayer (2013, 2014) ont fait l'hypothèse selon laquelle apprendre pour enseigner favoriserait l'utilisation de stratégies de haut niveau, comme par exemple, des

stratégies de résumés, nécessaires à l'élaboration d'un modèle mental. Récemment, Muis *et al.*, (2016) ont réalisé une étude visant à évaluer l'effet d'une consigne d'enseignement sur l'AAR auprès de participants âgés en moyenne de 11 ans. Les résultats de cette recherche indiquent que les participants qui apprennent pour enseigner présentent une activité métacognitive plus importante (i.e., jugement d'apprentissage et autocorrection). Toutefois, aucune différence n'a été observée entre les deux groupes dans l'utilisation des stratégies de haut niveau (e.g., résumé, coordination des sources d'informations). Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que donner la consigne d'apprendre pour enseigner conduit les participants à se fixer une norme d'apprentissage (*Standards*) plus exigeante. Ceci aurait pour conséquence d'amener les étudiants à vérifier plus régulièrement leur apprentissage (*monitoring*) sans pour autant modifier leur activité stratégique. Les résultats de notre étude mettent en évidence un pattern inverse dans les processus d'AAR mis en œuvre. En effet, les étudiants qui ont eu des tests d'enseignement ont utilisé plus de stratégies de haut niveau (résumé et construction de connaissances) mais n'ont pas réalisé plus de *monitoring* (i.e., jugements d'apprentissage et *monitoring* brefs). Nos résultats vont dans le sens de l'hypothèse formulée par Fiorella et Mayer (2013, 2014). Pour expliquer les différences de résultats observées dans l'utilisation des stratégies entre notre étude et celle de Muis *et al.* (2016), nous faisons l'hypothèse selon laquelle leurs participants surestiment leur capacité à enseigner les notions apprises. En effet, il se peut que les participants maintiennent une activité stratégique similaire à celle mise en œuvre dans une situation plus habituelle d'apprendre pour apprendre et ce, jusqu'à ce qu'ils expérimentent réellement une session d'enseignement. En résumé, il est possible que la consigne d'apprendre pour enseigner favorise un traitement actif de l'information seulement lorsque les individus ont une représentation correcte de l'exigence de ce type de tâche. Afin de confirmer cette hypothèse, il serait nécessaire de réaliser une nouvelle étude au cours de laquelle des participants qui reçoivent la consigne d'apprendre pour enseigner bénéficient ou non de tests d'entraînement à l'enseignement durant la session d'apprentissage.

Enfin, nos résultats n'ont pas révélé d'effet des tests d'entraînement à l'enseignement sur l'utilisation des processus de *monitoring* (jugements d'apprentissage et *monitoring* brefs) au cours de la session d'apprentissage. Griffin *et al.* (2008) ont montré que l'activité de

monitoring est réalisée secondairement aux processus de construction de sens dans la mesure où l'apprenant dispose encore de ressources cognitives nécessaires pour réaliser cette activité. Ainsi, une faible mémoire de travail ou la réalisation d'un traitement profond de l'information entraverait la mise en œuvre de cette activité métacognitive. Dans notre étude, l'utilisation importante de stratégies de haut niveau pourrait imposer une charge cognitive importante à la mémoire de travail, ce qui expliquerait la faible utilisation d'activités de *monitoring* (jugements d'apprentissages et *monitoring* brefs). D'autres études, intégrant des mesures de la charge mentale sont nécessaires pour tester cette hypothèse.

Pour conclure, notre étude est la première, à notre connaissance, à étudier l'effet de tests d'entraînement à l'enseignement à la fois sur la précision du processus de *monitoring* et sur le nombre d'utilisations de processus d'AAR. Nos résultats montrent que ce type de tests améliore la précision du *monitoring* et l'utilisation de stratégies impliquées dans l'élaboration d'un modèle mental. Autrement dit, nos résultats permettent de mettre en évidence un effet indirect des tests d'entraînement à l'enseignement sur la compréhension.

CHAPITRE 8 : Discussion générale

Construire une représentation mentale cohérente à partir d'un document multimédia nécessite de traiter activement les informations qui y sont contenues. Toutefois, en situation d'apprentissage autonome, certains apprenants ne déploieraient pas spontanément les stratégies nécessaires à ce type de traitement. Selon les modèles de la régulation de l'apprentissage (e.g., Nelson & Narens, 1990, 1994 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013), la mise en œuvre de ces activités cognitives est déterminée par les processus de *monitoring* et de *control.* En effet, produire une activité d'apprentissage adaptée aux exigences de la tâche nécessite d'être en mesure d'évaluer précisément et fréquemment l'état de ses connaissances au regard de ses objectifs d'apprentissage (processus de *monitoring*). De plus, les apprenants doivent être capables d'identifier les stratégies d'apprentissage efficaces à déployer au regard des objectifs d'apprentissage (processus de *control*).

L'objectif général de cette thèse était de tester l'hypothèse selon laquelle l'effet indirect des tests sur les performances d'apprentissage s'expliquerait par un réajustement du *monitoring* qui déclencherait en retour une activité d'AAR plus adaptée aux exigences de la tâche. Pour tester cette hypothèse, nous avons réalisé quatre études. L'étude 1 visait à déterminer si l'effet indirect des tests d'entraînement sur les performances d'apprentissage était, d'une part, accompagné d'un meilleur ajustement du processus de *monitoring* et pouvait, d'autre part, s'expliquer par une utilisation plus importante de processus d'AAR. L'objectif de l'étude 2 consistait à déterminer dans quelle mesure la fiabilité des indices procurés par les tests d'entraînement, quant au format et à l'exigence de l'évaluation finale, a une influence sur la précision du *monitoring*. De plus, il s'agissait de savoir si seuls des tests d'entraînement qui permettent de réajuster le processus de *monitoring* ont un effet sur l'AAR et sur les performances d'apprentissage. L'étude 3 visait à déterminer dans quelle mesure l'effet des tests sur l'AAR peut être renforcé lorsque des incitations stratégiques sont données aux participants consécutivement aux tests d'entraînement. Suite aux résultats des trois premières études, nous avons élaboré un test d'entraînement à l'enseignement destiné à maximiser les effets des tests sur l'apprentissage et plus particulièrement sur la compréhension du multimédia. Dans l'expérience 4, nous

avons évalué si ce type de test permet de calibrer le processus de *monitoring* sur la base d'un objectif de compréhension, de favoriser un AAR adapté à ce type d'objectif et d'améliorer les performances au questionnaire de transfert. Globalement, les résultats de ces quatre études corroborent notre hypothèse générale. Plus précisément, l'ensemble de nos résultats suggère que l'utilisation de tests d'entraînement peut permettre de réajuster le processus de *monitoring* et l'AAR des étudiants. Plus précisément, la qualité de ces réajustements est déterminée par la pertinence des indices procurés par les tests d'entraînement quant à l'exigence de l'évaluation finale.

1. L'AAR chez les étudiants : une tendance à un traitement passif des informations

L'ensemble des résultats obtenus par les différents groupes contrôles (aucun test ou aucune incitation stratégique) permet d'identifier les processus d'AAR spontanément mis en œuvre par les étudiants lors de l'apprentissage d'un document multimédia ainsi que leurs relations avec les performances de mémorisation et de compréhension. Les analyses de corrélation des quatre études soulignent l'importance des stratégies dites de haut niveau pour la mémorisation et la compréhension des documents multimédias. Ces stratégies correspondent à toute activité cognitive visant à activement transformer, générer ou mettre en lien des informations (e.g., Cromley *et al.*, 2010a ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Strømsø *et al.*, 2003). Les stratégies de résumé, de construction de connaissances, d'inférence et de coordination d'informations sont classiquement considérées comme des stratégies de haut niveau (Cromley & Azevedo, 2007 ; Cromley *et al.*, 2010a ; Dinsmore & Alexander, 2012, 2016 ; Dunlosky *et al.,* 2013 ; Fiorella & Mayer, 2016 ; Fox, 2009 ; Strømsø *et al.*, 2003 ; Vrugt & Oort, 2008). Globalement, nos résultats ont révélé que l'utilisation de ces quatre stratégies était en lien avec les performances obtenues aux questionnaires de mémorisation et de transfert. Toutefois, nos résultats ont également mis en évidence que ces différentes stratégies étaient, en moyenne, peu utilisées par les étudiants des groupes contrôles (en moyenne, pour les quatre expériences, 12.55 % des processus d'AAR utilisés étaient des résumés et 6.21 % des constructions de connaissances ; pour la première expérience, 2.32% des processus d'AAR utilisés étaient des inférences et 3.25 % des coordinations des sources d'informations). En effet, lorsqu'ils ont pour consigne d'apprendre un document multimédia, les étudiants des groupes contrôles utilisent

davantage de stratégies dites de bas niveau comme, par exemple, des stratégies de relecture (en moyenne 36% des processus d'AAR utilisés dans les 4 expériences) et de prise de notes de type recopiage (26% des processus d'AAR utilisés dans l'expérience 1). Autrement dit, les étudiants des groupes contrôles tendent, naturellement, à déployer des activités cognitives qui n'opèrent aucune transformation ou mise en lien de l'information (Cromley *et al.*2010a ; Dunlosky *et al*., 2013).

Par ailleurs, de nombreuses recherches ont montré que l'utilisation de la stratégie de prise de notes améliore les performances d'apprentissage (e.g., Barnett, Di Vesta, & Rogozinski, 1981 ; Bretzing & Kuhlhavy, 1979, 1981 ; Kiewra, 1985 ; Peper & Mayer, 1978 ; Peverly, Brobst, Graham, & Shaw, 2003). Toutefois, Greene *et al.*, (2015) n'observent pas de lien entre le nombre de prises de notes et les performances d'apprentissage. Ce résultat laisse supposer que ce serait moins la quantité que la qualité des prises de notes qui déterminerait l'efficacité de cette stratégie. Selon Denton, Wolters *et al.,* (2015), les « bons compreneurs » prendraient des notes de type résumé tandis que les « mauvais compreneurs » prendraient des notes de type verbatim. De même, Bretzing et Kulhavy (1979) ont montré qu'après avoir lu un texte, des participants adultes obtiennent de meilleures performances de mémorisation lorsqu'ils réalisent une prise de notes de type résumé que lorsqu'ils opèrent une prise de notes de type verbatim. Selon ces auteurs, les prises de notes de type résumé favoriseraient un traitement profond de l'information tandis que les prises de notes de type verbatim engageraient un traitement cognitif plus superficiel. Autrement dit, l'activité de prise de notes s'avèrerait bénéfique pour l'apprentissage dès lors qu'elle impliquerait un traitement actif de l'information. Les résultats de notre première expérience ne révèlent pas de lien entre le nombre de prises de notes et les performances d'apprentissage et corroborent ainsi ceux de Greene *et al.* (2015). Ces résultats suggèrent que les étudiants auraient spontanément tendance à s'engager dans des prises de notes passives de type recopiage. Ce résultat pourrait s'expliquer par les contraintes imposées par l'activité de production de texte sur la mémoire de travail (Alamargot, Caporossi, Chesnet, & Ros, 2011 ; Alamargot, Dansac, Ros, & Chuy, 2005). En effet, réaliser une prise de notes de type résumé nécessite de mettre en œuvre des processus rédactionnels complexes de planification et de formulation. Ces derniers, qui s'ajoutent aux processus graphomoteurs et orthographiques,

pourraient imposer une charge importante en mémoire de travail, notamment lorsque le domaine étudié est nouveau (pour une discussion sur ce point voir Alamargot, Dansac, Ros, & Chuy, 2005). Dans nos expériences, il est possible que les étudiants aient privilégié des prises de notes moins coûteuses sur le plan cognitif en raison de la nouveauté et de la complexité du document proposé.

Par ailleurs, nos analyses des processus d'AAR indiquent que la relecture était la stratégie la plus utilisée par les étudiants. Ces résultats confirment les données issues d'enquêtes concernant les stratégies d'apprentissage préférées des étudiants (Hartwig & Dunlosky, 2012 ; Kornell & Bjork, 2007 ; Karpicke *et al.,* 2009, pour une discussion voir Dunlosky *et al*., 2013). Malgré cette utilisation importante des stratégies de relectures, les résultats de nos trois premières expériences révèlent que le nombre de relectures effectuées pendant l'apprentissage n'était pas en lien avec les performances de mémorisation et de compréhension. Toutefois, d'autres études ont montré que ce type de stratégies peut parfois améliorer les performances d'apprentissage (voir Dunlosky et al., 2013) notamment lorsque les apprenants disposent d'une capacité de mémoire de travail limitée (Walczyk, Marsiglia, Bryan, & Naquin, 2001). Selon Mayer (1983), le fait de se réexposer à une information avec laquelle nous nous sommes déjà familiarisés favoriserait l'utilisation de processus de sélection, d'organisation et d'intégration de l'information. Dans cette perspective, la stratégie de relecture pourrait être bénéfique pour la compréhension dès lors qu'elle s'accompagne d'un traitement actif de l'information, comme c'est le cas, par exemple, lorsqu'un étudiant relit un paragraphe en vue de constituer une fiche synthétique. Or, il est également possible que cette stratégie de relecture ne s'accompagne pas systématiquement d'un traitement profond de l'information comme c'est le cas, par exemple, lorsqu'un étudiant relit un paragraphe pour le recopier passivement. Ainsi, le même comportement de relecture pourrait impliquer des traitements plus ou moins profonds de l'information. Par ailleurs, comme le suggèrent Hattie et Donogue (2016), l'utilisation de stratégies de bas niveau, dans les premières phases d'apprentissage, serait un préalable nécessaire à un traitement profond de l'information mais ne permettrait pas à elle seule un apprentissage de qualité. Cette interprétation pourrait expliquer les résultats inconsistants obtenus dans nos quatre études quant à l'efficacité de la stratégie de relecture. En effet, le

nombre de stratégies de relecture n'était par corrélé aux performances de mémorisation et de compréhension dans les expériences 1, 2 et 3 mais l'était dans l'expérience 4. Dans cette dernière expérience, les participants qui ont reçu des tests d'enseignement ont réalisé en moyenne 6 fois plus de stratégies de résumé que les participants du groupe contrôle. Dans les trois premières expériences, aucune différence significative dans le nombre d'utilisations de résumé n'a été observée entre les groupes avec tests et les groupes contrôles. Il est ainsi possible que, dans l'expérience 4, la réalisation importante de résumés, chez les participants bénéficiant de tests, ait nécessité le recours, au préalable, à de nombreuses stratégies de relectures. Dans ce cas, l'utilisation de stratégies de relecture viserait à réaliser un traitement profond de l'information, ce qui pourrait alors expliquer que le nombre de relectures ait été en lien avec les performances d'apprentissage. En revanche, les stratégies de relecture pourraient avoir été utilisées à des fins différentes dans les expériences 1, 2 et 3. Celles-ci pourraient ne pas être ou très peu accompagnées de stratégies de haut niveau et viseraient plutôt à une réexposition passive à l'information. Dans les études futures, l'efficacité des stratégies de relecture pourrait être étudiée plus précisément, non seulement par l'analyse de leur fréquence d'utilisation mais également à partir d'une analyse des chaines de régulation dans lesquelles elles s'inscrivent.

Pour résumer, l'ensemble de nos résultats indique que les participants des quatre groupes contrôles privilégient l'emploi de stratégies de bas niveau et très peu de stratégies de haut niveau. Autrement dit, les étudiants universitaires auraient spontanément tendance à déployer une activité d'apprentissage passive et inadaptée pour comprendre un document multimédia complexe. Selon les modèles de l'AAR (Nelson & Narrens, 1990, 1994 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013), les apprenants s'appuieraient sur les estimations émises via leur processus de *monitoring* pour choisir les stratégies d'apprentissage à appliquer. Or, nos résultats ont montré que les estimations produites par les participants des groupes contrôles quant à leur capacité à réussir une évaluation future sont souvent supérieures aux performances réelles de mémorisation (expériences 1 et 2) et systématiquement supérieures aux performances réelles obtenues au questionnaire de transfert. Ces résultats soutiennent ceux de précèdents travaux sur la tendance des étudiants à surestimer leur compréhension des documents multimédias (e.g., Eitel, 2016 ; Jaeger & Wiley, 2014 ; Serra & Dunlosky, 2010) et pourraient expliquer en

partie l'inadéquation de leur activité d'apprentissage à des exigences de compréhension. Afin de favoriser un apprentissage actif chez les étudiants, nous avons utilisé les tests d'entraînement comme outils de recalibration du processus de *monitoring.*

2. Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs

L'un des objectifs de cette thèse était de mieux comprendre le fonctionnement du processus de *monitoring* lors de l'apprentissage d'un document multimédia. Plus spécifiquement, il s'agissait d'étudier la précision des estimations produites par le processus de *monitoring* ainsi que d'identifier les paramètres pris en compte par ce processus dans l'élaboration de ces estimations. Pour ce faire, à la fin de leur apprentissage, les participants devaient estimer les performances qu'ils obtiendraient à une future évaluation portant sur le document multimédia. Afin de déterminer la norme d'apprentissage que les étudiants prennent pour référence, nous avons calculé deux *bias index* : leurs estimations étaient comparées à 1) leur score réel obtenu au questionnaire de mémorisation (*bias index* mémorisation) et 2) leur score réel obtenu au questionnaire de transfert (*bias index* transfert). Par ailleurs, afin d'identifier les paramètres pris en compte par le processus de *monitoring* dans l'élaboration des estimations, nous avons utilisé des tests d'entraînement dont l'exigence et le format variaient de ceux de l'évaluation finale. Enfin, cette thèse visait aussi à étudier le rôle de ces estimations dans les activités d'apprentissage déployées par le processus de *control*. Autrement dit, il s'agissait de mieux comprendre la relation entretenue entre le processus de *monitoring* et le processus de *control*. Nous avions formulé les hypothèses suivantes : 1) les tests d'entraînement procureraient aux apprenants des indices, d'une part, quant à l'exigence de l'évaluation à venir (Eitel, 2016 ; Storm *et al.*, 2016 ; Rouet & Vidal-Abarca, 2002) et, d'autre part, quant à leur état cognitif au regard de cette exigence (Little & McDaniel, 2015 ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Yang *et al.*, 2017b), 2) la qualité du réajustement du *monitoring* serait fonction de la fiabilité de ces indices et 3) seuls les tests d'entraînement qui permettent de réajuster le processus de *monitoring* amèneraient les étudiants à déployer un AAR plus adapté à l'exigence de la tâche.

2.1. Effet des tests d'entraînement sur le *monitoring*

Globalement, les résultats de nos quatre études ont montré qu'insérer régulièrement des tests d'entraînement durant un apprentissage influence la précision du *monitoring.* Ces résultats généralisent ceux de précédentes études à une situation d'apprentissage plus écologique, à savoir un document multimédia portant sur des notions scientifiques. En effet, les participants qui ont reçu des tests d'entraînement ont systématiquement obtenu des *bias index* plus faibles que les participants ne bénéficiant pas des tests d'entraînement. De plus, les participants des groupes avec tests produisaient des estimations mieux ajustées à leur performances réelles que les étudiants des groupes contrôles (expériences 1, 2 et 4). Cependant, cette amélioration de la calibration du processus de *monitoring* était observée seulement dans les situations où l'exigence des tests d'entraînement correspondait à celle de l'exigence finale. Dans les expériences 1 et 2, les quiz standards étaient composés de questions de mémorisation et procuraient donc aux étudiants, des indices sur la qualité de leur mémorisation et non sur la qualité de leur compréhension. Les résultats révèlent que les participants qui ont régulièrement reçu ces quiz ont ajusté leur estimation à leur niveau de mémorisation (analyses des *bias index* mémorisation) et non à leur niveau de compréhension (analyses des *bias index* transfert). Dans l'expérience 4, les tests d'entraînement à l'enseignement exigeaient non seulement de mémoriser les informations contenues dans le document multimédia mais aussi de les comprendre en vue de les expliquer. Contrairement aux expériences 1 et 2, les participants ayant bénéficié de ce type de tests ont ajusté leur estimation à leur niveau de compréhension et non à leur niveau de mémorisation. Enfin, comme nous l'avons vu dans l'étude 2, lorsque l'exigence des tests d'entraînement est moins élevée que celle de l'évaluation finale, les étudiants maintiennent une surestimation aussi importante que celle des étudiants du groupes contrôle. Toutefois, dans l'expérience 3, de manière plus inattendue, les participants bénéficiant de quiz ont sous-estimé leur performance à une évaluation future au regard de leurs performances réelles de mémorisation. Ce résultat a néanmoins déjà été observé dans certaines études (e.g., England & Serra, 2012 ; Finn & Metcalfe, 2007, 2008 ; Hanczakowski, Zawadzka, Pasek, & Higham, 2013 ; Koriat, Sheffer, and Ma'ayan, 2002 ; Serra & Dunlosky, 2005). Selon Finn & Metcalfe, les participants s'appuieraient sur le souvenir de tests passés pour effectuer leur estimation.

Contrairement aux études 1, 2 et 4, les participants de la troisième expérience étaient inscrits en deuxième année de licence. Cette troisième étude a été réalisée au second semestre, quelques semaines après leur examen de neurosciences. Par conséquent, il est possible, qu'en plus des indices fournis par les quiz, certains participants se soient basés sur leurs performances obtenues à cet examen pour réaliser leur estimation.

Selon Winne et Hadwin (1998), les étudiants via le processus de *monitoring* comparent l'écart existant entre deux types d'inputs. Le premier input correspond aux objectifs d'apprentissage fixés par l'apprenant. Le second input correspond à l'estimation effectuée par l'apprenant sur son état cognitif. De nombreuses recherches ont étudié les facteurs influençant le processus d'estimation de la cognition (input 2). Toutefois, comme le soulignent Winne & Hadwin (1998), cette estimation de la cognition est toujours réalisée au regard d'un objectif d'apprentissage, lui-même fixé par l'apprenant (input 1). Or, l'ensemble de nos résultats laisse supposer que la surestimation des étudiants et leur déploiement de stratégies d'apprentissage inappropriées pourraient résulter de leur difficulté à se fixer un objectif adapté à l'exigence de la tâche d'apprentissage. A ce jour, le processus d'élaboration des objectifs de la tâche a été peu étudié dans la littérature (pour une discussion, voir Rouet et al., 2017). Selon nous, cette question a moins été explorée en raison du matériel d'apprentissage utilisé dans de nombreuses études. En effet, les recherches portant sur la précision du processus de *monitoring* ont très souvent utilisé des tâches de mémorisation de listes de mots. Dans cette situation, l'objectif de la tâche d'apprentissage est clair pour l'apprenant. Toutefois, l'objectif d'apprentissage peut être plus flou avec un matériel d'apprentissage plus complexe comprenant du texte et des illustrations interreliés. De plus, l'exigence de l'évaluation finale du document peut ne pas être systématiquement explicitée par l'expérimentateur ou l'enseignant. Les étudiants doivent alors inférer les objectifs de la tâche. Dans cette situation, la représentation qu'ils se font de l'objectif de la tâche peut différer de ce qui est ultérieurement attendu d'eux à l'examen final (Rouet *et al.*, 2017). Dans nos quatre expériences, les analyses des *bias index* montrent que les étudiants évaluent la qualité de leur apprentissage sur la base de leur représentation de surface et non sur celle de leur modèle de situation (voir Thiede, 2009 pour une discussion de ce phénomène). Cette interprétation erronée de l'objectif de la tâche, à savoir comprendre le document, pourrait

être à l'origine de la surestimation des étudiants et expliquer que ces derniers ne mettent pas en œuvre un AAR adapté à des objectifs de compréhension. Une explication possible serait que les étudiants universitaires présentent des difficultés à percevoir la distinction entre mémoriser et comprendre un document. Les résultats de la récente étude d'Eitel (2016) vont dans le sens de cette hypothèse. Dans cette étude, des étudiants avaient pour tâche d'estimer, d'une part, la qualité de leur mémorisation et d'autre part, la qualité de leur compréhension du document, suite à l'apprentissage d'un document multimédia. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux estimations (mémorisation et compréhension). Toutefois, nos résultats suggèrent que l'utilisation de tests d'entraînement à l'enseignement pourrait permettre aux étudiants de percevoir la différence entre mémorisation et compréhension et de réactualiser en conséquence les objectifs de la tâche et leur activité stratégique.

La précision absolue du *monitoring* a essentiellement été explorée dans la littérature à partir du calcul de *bias index*. Or, ce dernier est une mesure composite pouvant être influencée par quatre paramètres différents : la définition de l'objectif de la tâche par l'apprenant, l'estimation de ses connaissances au regard de cet objectif, l'exigence de la tâche fixée par l'expérimentateur ou l'enseignant et la performance réelle de l'apprenant à cette tâche. Autrement dit, la précision des estimations produites par les apprenants serait influencée à la fois par des facteurs internes et externes. Nos résultats montrent que lorsque les indices sur les exigences de l'évaluation finale fournis par l'environnement sont clairs et fiables, les étudiants sont capables d'estimer relativement précisément leurs futures performances. Ainsi, la surestimation des étudiants pourrait résulter davantage du fait que les situations éducatives qui leur sont proposées ne leur permettent pas de construire une représentation précise de l'objectif d'apprentissage que par un déficit du processus de *monitoring* à estimer précisément l'état des connaissances au regard de ces objectifs.

2.2. Effet des tests d'entraînement sur l'AAR

Les résultats de nos quatre études révèlent que les ajustements du processus de *monitoring* s'accompagnent d'un AAR adapté aux exigences fixées par les tests d'entraînement. En effet, dans les expériences 1, 2 et 3, les tests d'entraînement étaient composés de questions de mémorisation. Dans ces trois expériences, les participants bénéficiant de ces tests ont

davantage utilisé de processus d'AAR en lien avec les performances de mémorisation. De même, dans l'expérience 4, les tests d'entraînement à l'enseignement nécessitaient de comprendre les informations contenues dans chaque chapitre en vue de les restituer et de les expliquer. Les étudiants ayant reçu ces tests ont utilisé plus de processus d'AAR en lien avec le questionnaire de transfert (i.e., stratégies de résumé). Enfin, les tests d'entraînement n'ayant pas eu d'effet sur la précision du *monitoring* (quiz facilité, étude 2) n'ont pas favorisé un AAR plus adapté à l'évaluation finale. Ces résultats suggèrent l'existence d'un lien entre les processus métacognitifs de *monitoring* et de *control* (Nelson & Narens, 1990, 1994 ; Winne & Hadwin, 1998, 2008, 2013). Plus précisément, la qualité des décisions d'apprentissage issues du processus de *control* -et ainsi la qualité de l'apprentissage autorégulé- reposerait sur la précision des estimations produites par le *monitoring* (e.g., Bjork *et al*., 2013 ; Dunlosky & Rawson, 2012 ; Nietfeld *et al*., 2006 ; Thiede, 1999). En résumé, l'effet des tests d'entraînement sur l'AAR s'expliquerait par un réajustement du processus de *monitoring* qui, en retour, entrainerait une activation du processus de *control.* Par ailleurs, nous supposons que les tests d'entraînement pourraient également avoir un effet complémentaire de guidage dans l'activité stratégique à déployer. En effet, l'AAR des étudiants était différemment influencé en fonction du type de test d'entraînement proposé. Les quiz (expériences 1, 2 et 3) ont principalement eu un effet sur l'utilisation des stratégies de construction de connaissances tandis que les tests d'entraînement à l'enseignement (expérience 4) ont principalement eu un effet sur l'utilisation de stratégies de résumé.

La construction de connaissances est une stratégie au cours de laquelle l'apprenant intègre les informations qui viennent d'être lues ou vues aux informations préalablement traitées. Dans nos expériences, il est probable que cette stratégie ait surtout été utilisée pour intégrer les informations textuelles aux informations contenues dans les illustrations et ce, en raison du format de notre document d'apprentissage (document multimédia). Autrement dit, une consultation importante des schémas pourrait avoir favorisé l'utilisation de ce type de stratégies. Dans nos trois premières expériences, les quiz comprenaient systématiquement des questions portant sur les schémas. Par conséquent, il est probable que les quiz aient amené les apprenants à davantage traiter les schémas du multimédia que les participants ne bénéficiant pas de quiz. Ceci pourrait alors expliquer l'utilisation plus importante de la stratégie de construction de

connaissances dans le groupe avec quiz que dans le groupe sans quiz. Dans l'expérience 4, les tests d'enseignement amenaient les participants à restituer et expliquer chacun des paragraphes de l'ENA, ce qui pourrait expliquer l'utilisation plus importante de stratégies de résumé chez les participants qui ont reçu ce type de tests par rapport à ceux qui n'en n'ont pas reçus. Par conséquent, les tests d'entraînement permettraient non seulement de réajuster le processus de *monitoring* mais ils pourraient également guider les étudiants sur les activités stratégiques à déployer.

3. L'effet indirect des tests : implications pour l'éducation

L'effet indirect des tests d'entraînement a été régulièrement mis en évidence dans la littérature notamment à partir de tâches de mémorisation de mots ou de courts paragraphes (Ariel & Karpicke, 2017 ; Little, & McDaniel, 2015 ; Pastöter & Bäuml, 2014 ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Yang *et al.*, 2017b ; Soderstrom & Bjork, 2014 ; Wissmann *et al.*, 2011). Comme nous l'avons vu précédemment, l'ensemble de nos résultats permet d'expliquer plus précisément les mécanismes psychologiques sous-tendant cet effet indirect (réajustement du *monitoring* et modification de l'AAR) et les conditions qui favorisent son obtention. Par ailleurs, l'un des objectifs de cette thèse était de répliquer l'effet indirect des tests sur un matériel d'apprentissage plus complexe et plus écologique que des listes de mots ou des courts paragraphes : un document multimédia portant sur des notions de neurosciences prévues au programme des étudiants. Il existe actuellement un débat dans la littérature quant à la pertinence de l'utilisation des tests d'entraînement dans le champ de l'éducation (Karpicke & Aue, 2015 ; Rawson, 2015 ; van Gog & Sweller, 2015). Certains auteurs, comme van Gog et Sweller (2015), postulent que les tests d'entraînement, auraient peu, voire pas d'effet direct sur la mémorisation de documents complexes alors que d'autres auteurs soutiennent le postulat inverse (e.g., Karpicke & Aue, 2015 ; Rawson, 2015). Nos résultats montrent qu'insérer régulièrement des tests d'entraînement au sein d'un document multimédia de neurosciences peut améliorer les performances de mémorisation. De plus, à notre connaissance, nos travaux sont les premiers à mettre en évidence un effet indirect des tests sur la compréhension d'un document complexe (expérience 4). Par conséquent, dans la lignée de Karpicke et Aue (2015) et de Rawson (2015), nos résultats suggèrent que les tests d'entraînement pourraient être davantage utilisés dans le champ de

l'éducation pour favoriser l'apprentissage de documents complexes. Toutefois, nos travaux montrent également que des précautions doivent être prises pour préserver leur efficacité.

L'utilisation des tests d'entraînement dans les milieux éducatifs est aujourd'hui facilitée par le recours aux outils numériques. Par exemple, des dispositifs tels que des *clickers* permettent de tester, en temps réel, les connaissances des étudiants. Dans cette situation, les étudiants doivent répondre à des questions sur le cours à partir d'un boitier, lors de travaux dirigés ou de cours magistraux (voir Hunsu, Adesope, & Bayly, 2016). L'utilisation de ce type d'outil présente différents avantages. Tout d'abord, les *clickers* permettent de fournir aux apprenants des feedbacks correctifs en temps réel sur l'état de leurs connaissances. Par ailleurs, de récentes études ont montré qu'ils favorisent l'engagement des étudiants dans la tâche d'apprentissage (Healy, Jones, Lalchandani, & Tack, 2017), leur sentiment d'auto-efficacité (Buil, Catalán, & Martínez, 2016) ainsi que l'efficacité des méthodes d'enseignement par les pairs (Michinov, Morice, & Ferrières, 2015). Enfin, ils peuvent avoir un effet direct positif sur la mémorisation (Bjork, Soderstrom, & Little, 2015). Néanmoins, la récente méta-analyse de Hunsu et al., (2016) décrit des résultats inconsistants quant à l'efficacité de ces outils sur les performances d'apprentissage des étudiants. Nos études proposent des pistes de réflexion pour expliquer une des origines possibles à ces résultats divergents. Comme nous l'avons vu précédemment, les tests d'entraînement auraient un effet bénéfique sur l'AAR des étudiants dès lors qu'ils leur donnent des indices fiables sur les attendus de l'examen final et de l'état de leurs connaissances au regard de ces attendus. Or, les tests d'entraînement proposés par les outils numériques prennent souvent la forme de questions à choix multiples qui évaluent la plupart du temps des capacités de reconnaissance plutôt que de récupération (e.g., Bjork *et al.*, 2015 ; Healy et *al.*, 2017). Aussi, ce type de test pourrait être plus simple que des questions ouvertes de mémorisation ou de compréhension souvent proposées durant un examen terminal. Autrement dit, il pourrait « tromper » les étudiants sur ce qui est réellement attendu d'eux et favoriser un AAR inapproprié à l'exigence de la tâche lors de leurs sessions de révisions. Malgré les effets directs bénéfiques pour la mémorisation, les tests d'entraînement pourraient, dans certains cas, favoriser une illusion métacognitive préjudiciable pour l'AAR des étudiants (voir aussi Thiede *et al.*, 2011).

4. Limites et perspectives

- L'utilisation des feedbacks

Dans les trois premières études de cette thèse, les tests procurés aux apprenants étaient systématiquement accompagnés de *feedbacks* correctifs. Dans la mesure où nos différentes expériences avaient pour objectif d'étudier l'effet d'un réajustement du processus de *monitoring* par des tests d'entraînement, nous souhaitions ainsi nous assurer que les étudiants interprètent correctement leur réussite ou leur échec à répondre aux questions des quiz. Toutefois, les recherches qui ont étudié l'effet indirect des tests n'ont pas toujours utilisé de *feedbacks* correctifs (e.g., Eitel, 2016 ; Little & McDaniel, 2015 ; Soderstrom & Bjork, 2014). Il est possible que la présence des *feedbacks*, dans nos trois premières expériences, ait renforcé les effets indirects observés. Cependant, nous faisons l'hypothèse que la présence de *feedbacks* n'est pas nécessaire pour obtenir un effet indirect des tests d'entraînement. En effet, nous avons répliqué les résultats des expériences 1, 2 et 3 dans l'expérience 4, qui elle, ne proposait pas de *feedbacks* suite aux réponses des étudiants. Toutefois, de nouvelles études proposant des tests d'entraînement accompagnés ou non de *feedbacks* devraient être réalisées afin de déterminer plus précisément le rôle joué par ces retours correctifs dans l'effet indirect.

- Evaluation des performances d'apprentissage à plus long terme

Dans nos quatre études, l'évaluation des performances de compréhension et de mémorisation a été réalisée immédiatement après la session d'apprentissage. Cette évaluation immédiate de l'apprentissage limite la portée de nos conclusions. En effet, certains travaux ont mis en évidence que la différence entre les performances d'étudiants qui utilisent des stratégies de bas niveau et celles d'étudiants qui traitent plus profondément l'information s'accentue lorsque le délai entre la phase d'apprentissage et la phase de restitution des connaissances augmente (e.g., Bahrick & Hall, 2005 ; Rawson, Dunlosky, & Sciartelli, 2013 ; Roediger et Karpicke, 2006). Dans nos expériences, il est donc possible que les différences entre les groupes avec tests et les groupes sans test eussent été davantage marquées si un tel délai avait été introduit.

- Validité écologique des expériences

L'un des objectifs de cette thèse était d'explorer l'AAR des étudiants dans une situation d'apprentissage écologique. Bien que des précautions aient été prises pour préserver ce caractère écologique (document multimédia, notions abordées dans l'ENA, temps d'apprentissage long et libre, etc.), nos quatre études ont néanmoins été réalisées dans un cadre expérimental sans enjeux académiques. Aussi, le *monitoring*, l'AAR, les performances d'apprentissage des étudiants et les effets des tests sur ces variables pourraient différer de ceux observés dans des situations réelles d'apprentissage ou de révisions.

Par ailleurs, nous avons utilisé un protocole de verbalisation afin de recueillir, en temps réel, l'activité cognitive et métacognitive des étudiants. Or, la validité de ce type de mesure a souvent été débattue dans la littérature (voir Ericsson & Simon, 1993 ; Huet & Mariné, 1998 ; Pressley & Afflebach, 1995 ; Rouet & Passerault, 1999). Par exemple, Kuhl *et al.,* (2011) rapportent des difficultés chez certains étudiants à verbaliser pendant une tâche d'apprentissage. Dans cette étude, les participants étaient autorisés à rester silencieux sur des périodes n'excédant pas 15 secondes. Or, pour préserver la fiabilité des protocoles verbaux, il est nécessaire que les participants pensent à voix haute sans interruption et sans expliquer leur verbalisation. Lorsque cette consigne est suivie par les participants, cette activité de verbalisation n'a pas d'effet sur l'apprentissage (Bannert & Mengelkamp, 2008). En revanche, le fait de réaliser des pauses pendant la verbalisation nécessite, à chaque fois, de décider d'interrompre ou de reprendre cette activité. Par ailleurs, ces pauses peuvent encourager les étudiants à sélectionner les informations qu'ils souhaitent verbaliser. Cette gestion consciente de la verbalisation peut, d'une part, placer l'étudiant en situation de double tâche et, d'autre part, biaiser la mesure des activités cognitives et métacognitives déployées (Ericsson, 2006 ; Greene *et al.,* 2015). Par conséquent, les difficultés rencontrées par les étudiants de l'expérience de Kuhl *et al.* (2011) pourraient s'expliquer par ces interruptions répétées au cours de l'activité de verbalisation.

- Etude du lien entre le processus de *monitoring* et l'AAR

Nos quatre études ont révélé que les réajustements de la précision du processus de *monitoring* étaient systématiquement accompagnés de processus d'AAR plus adaptés à l'exigence des tests d'entraînement. Néanmoins, cette relation n'a pas été testée

statistiquement. Récemment, Mihalca *et al.* (2017) ont testé le lien entretenu entre la précision du *monitoring* et l'activité stratégique. Toutefois, comme nous l'avons vu précédemment, le *bias index* est calculé en réalisant la différence entre la performance estimée et la performance réelle de chaque participant. Par conséquent, une part importante de la variance de cet indice est déterminée par la performance réelle des participants. Or, l'activité d'AAR étant elle-même corrélée aux performances d'apprentissage, il est impossible de déterminer si la corrélation entre le *bias index* et l'activité d'AAR témoigne d'un lien entre le processus de *monitoring* et de *control* ou est davantage le fait d'un effet d'artefact produit par cette mesure composite. Pour obtenir des résultats statistiquement valides quant au lien entretenu entre le processus de *monitoring* et de *control*, les estimations des participants, leurs performances d'apprentissage et le nombre de processus d'AAR déployés pourraient être mesurés à la fin de chaque chapitre. De cette façon, des corrélations entre les *bias index* de chaque chapitre et le nombre de processus d'AAR déployés au chapitre suivant pourraient être calculées. Par ailleurs, ce type de mesure permettrait d'analyser non seulement l'effet des tests d'entraînement sur la précision absolue mais aussi sur la précision relative du processus de *monitoring*. Il serait alors possible d'évaluer la cohérence globale de l'ensemble des performances estimées par rapport à l'ensemble des performances réelles. Autrement dit, la capacité des apprenants à discriminer ce qu'ils ont appris de ce qu'ils n'ont pas appris pourrait être mesurée. Toutefois, ces mesures n'ont pas été réalisées pour deux raisons principales. Premièrement, les recherches ont mis en évidence que les performances de mémorisation et l'AAR des participants peuvent être modifiées lorsque ces derniers doivent estimer leurs performances pendant la tâche d'apprentissage (Mitchum *et al.,* 2016 ; Soderstrom *et al.,* 2015 ; Schnaubert & Bodemer, 2017). Dans la mesure où l'objectif de nos recherches était de déterminer si l'AAR des participants pouvait être modifié suite à la présentation de tests d'entraînement, nous avons choisi de ne pas effectuer ce type de mesure. Deuxièmement, les protocoles de verbalisation exigent des temps d'apprentissage conséquents pour obtenir des données interprétables. En effet, certains processus réalisés peu fréquemment peuvent néanmoins avoir une influence importante sur la mémorisation et /ou la compréhension des informations. Par exemple, un seul jugement d'apprentissage réalisé au bout de 10 minutes d'apprentissage peut conduire un participant à réétudier l'ensemble d'un chapitre. Pour cette

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

raison, nous avons donc choisi d'agréger les données d'AAR sur l'ensemble des chapitres et non d'analyser les processus d'AAR chapitre par chapitre. Ceci explique également que nous n'ayons pas étudié l'évolution dans le temps des processus du *monitoring* et d'AAR. Aussi, nos résultats ne nous permettent pas d'étudier plus précisément les différentes modifications dans le temps de l'AAR lorsque les participants sont régulièrement exposés à différents types de tests d'entraînement.

- Autres facteurs influençant l'AAR

A ce jour, il est reconnu que des facteurs tels que la motivation (e.g., Berger, 2013 ; Duffy & Azevedo, 2015 ; Moos, 2014 ; Tarchi, 2017), le type de but fixé par les étudiants (maitrise vs. performance ; e.g., Dupeyrat, Escribe, Huet, Régner, 2011 ; Huet, Escribe, Dupeyrat, Sakdavong, 2010), les connaissances antérieures (e.g., Moos & Azevedo, 2008 ; Taub, Azevedo, Bouchet, & Khosravifar, 2014), ou encore les émotions (e.g., Caviola, Carey, Mammarella, & Szucs, 2017 ; Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002 ; Trevors, Kendeou, & Butterfuss, 2017 ; Trevors, Muis, Pekrun, Sinatra, & Muijselaar, 2017) ont également une influence sur l'AAR des étudiants et leurs performances aux examens. En effet, les étudiants fixeraient leurs objectifs d'apprentissage et décideraient de déployer des stratégies d'apprentissage en fonction de l'effort qu'ils sont prêts à investir (Hattie & Donoque, 2016 ; Rouet *et al.,* 2017 ; Winne & Hadwin, 1998). Par ailleurs, des tests de type examen peuvent engendrer, chez certains étudiants, des émotions négatives (Pekrun *et al*., 2004). De plus, les étudiants rapportent davantage de sentiments d'ennui lorsqu'ils ont échoué aux examens que lorsque ce n'est pas le cas (Pekrun, Hall, Goetz, & Perry, 2014). Toutefois, ces différentes émotions négatives pourraient davantage être liées aux enjeux associés aux tests qu'aux tests eux-mêmes. En effet, comme l'ont récemment souligné Healy *et al*. (2017), le fait de proposer régulièrement des tests d'entraînement qui ne comportent aucun enjeu académique diminue l'ennui des étudiants et favorise leur engagement dans la tâche.

A ce jour, les paramètres des tests qui influent sur l'activité émotionnelle et motivationnelle des apprenants restent cependant encore peu connus. Par exemple, des tests d'entraînement dont la difficulté serait trop élevée au regard des capacités d'un participant pourraient favoriser un désengagement de ces derniers. Par ailleurs, les modifications d'AAR

produites par les tests d'entraînement pourraient être en partie déterminées par le type et le niveau d'activation des émotions qu'ils suscitent chez les étudiants. Des études combinant des mesures physiologiques et des mesures *onlines* de l'AAR (e.g., protocole de verbalisation ou eye tracker), permettraient d'éclaircir les réactions émotionnelles suscitées par les tests d'entraînement et leur lien avec l'activité stratégique déployée par les étudiants.

- Perspectives pour le guidage efficace de l'AAR

Comme nous l'avons vu précédemment, l'efficacité de l'AAR repose non seulement sur un *monitoring* précis mais également sur la capacité des étudiants via leur processus de *control* à déployer les stratégies adaptées en fonction de la situation d'apprentissage. Or, il est possible que certains étudiants ne disposent pas, dans leur librairie métacognitive, des connaissances stratégiques nécessaires pour réguler efficacement leur apprentissage. Afin de soutenir le processus de *control*, nous avons eu recours à des incitations stratégiques (expérience 3) ou à des tests d'entraînement favorisant l'utilisation de stratégies de haut niveau (expérience 4). Toutefois, plusieurs facteurs peuvent limiter l'efficacité de ce type d'intervention. Tout d'abord, les apprenants doivent décider de se conformer aux incitations stratégiques qui leur sont proposées. Comme le suggèrent Clark et Syinicki (2015), les étudiants tendent à utiliser plus de stratégies de bas niveau car ils les jugent plus agréables à appliquer que des stratégies de haut niveau. Les stratégies de structuration et de consolidation de l'information sont des activités complexes qui peuvent amener les étudiants à prendre conscience de leurs difficultés de mémorisation et de compréhension. Selon Hattie et Donogue (2016), pour décider d'utiliser ce type de stratégie, l'apprenant doit être capable de tolérer les ambiguïtés et les incertitudes accompagnant le processus de traitement profond de l'information. Par conséquent, il est important que les étudiants puissent identifier la relation de cause à effet entre un investissement cognitif plus coûteux et les bénéfices de cet investissement. Cette relation est d'autant plus difficile à établir pour les étudiants que l'amélioration de la mémorisation et de la compréhension associée à l'utilisation de stratégies de haut niveau est souvent perceptible sur le long terme (Rawson *et al.,* 2013 ; Roediger & Karpicke, 2006). Par conséquent, certains étudiants pourraient ne pas se conformer aux incitations stratégiques s'ils ne perçoivent pas l'intérêt d'un engagement cognitivement plus coûteux pour leur apprentissage.

Par ailleurs, le fait de déployer des stratégies de haut niveau suggérées par les incitations stratégiques ne conduirait pas systématiquement à une amélioration des performances d'apprentissage. Deux raisons pourraient expliquer ce phénomène. Tout d'abord, le déploiement d'une nouvelle stratégie nécessite un contrôle attentionnel important (Afflebach *et al.,* 2006). Dans ce cas, les ressources cognitives de l'apprenant pourraient être davantage allouées à la régulation consciente et non automatique de cette nouvelle stratégie qu'au processus de compréhension du document. Par ailleurs, la qualité de l'activité stratégique des étudiants devrait non seulement être mesurée par la quantité de stratégies de haut niveau utilisées mais aussi par l'adéquation de cette activité au regard des différents paramètres de la situation d'apprentissage. En effet, des facteurs tels que l'exigence de la tâche (e.g., Bahrick & Hall, 2005 ; Ponce & Mayer, 2014), le domaine d'étude (e.g., histoire vs science, Donker *et al*., 2016 ; Greene *et al*., 2015 ; Poitras et Lajoie, 2013), le support étudié (e.g., illustration vs texte, Cromley *et al*., 2010a ; Larkin & Simon 1987), les connaissances antérieures de l'apprenant (Cromley & Azevedo, 2007 ; Greene & Azevedo, 2007a, 2009), ses capacités de compréhension (McMaster *et al*., 2012) ou encore la phase d'apprentissage (e.g., surface vs. profond, Alexander *et al.*, 1997 ; Hattie & Donogue, 2016 ; Strømsø *et al*., 2003) détermineraient l'efficacité des stratégies déployées. Par exemple, selon Hattie et Donogue, certaines stratégies de haut niveau, comme les résumés, seraient efficaces dès lors que l'apprenant aurait construit au préalable une représentation de surface. Aussi, l'utilisation de stratégies de relecture serait plus adaptée que celle de stratégies de haut niveau dans les premières phases de l'apprentissage. Autrement dit, proposer, comme nous l'avons fait, des incitations stratégiques qui ne s'ajustent pas aux différents paramètres cognitifs et environnementaux de la situation d'apprentissage pourrait conduire les étudiants à déployer des stratégies non adaptées. Les outils numériques, de par leur caractère interactif, peuvent toutefois s'adapter en temps réel aux capacités et aux besoins des apprenants (voir Azevedo, 2005 ; Azevedo, Cromley *et al.,* 2004). Pour ce faire, ces outils doivent être en mesure d'évaluer régulièrement les différents paramètres de la situation d'apprentissage et proposer, en retour, un guidage aux apprenants en fonction de ces paramètres. Or, pour que ces outils interactifs soient efficaces, leur conception doit reposer sur une compréhension explicite du fonctionnement psychologique des étudiants en situation d'apprentissage. Par conséquent, il est

nécessaire que les futures recherches étudient plus précisément l'organisation temporelle de l'AAR en fonction des différents paramètres de la situation d'apprentissage et identifient plus spécifiquement les types de soutiens à apporter en fonction de ces paramètres.

BIBLIOGRAPHIE

A

Adesope, O. O., Trevisan, D. A., & Sundararajan, N. (2017). Rethinking the Use of Tests: A Meta-Analysis of Practice Testing. *Review of Educational Research*, *87*(3), 659-701. DOI: 10.3102/0034654316689306.

Afflerbach, P., Pearson, P. D., & Paris, S. G. (2008). Clarifying differences between reading skills and reading strategies. *The reading teacher*, *61*(5), 364-373. DOI: 10.1598/RT.61.5.1.

Agarwal, P. K., Bain, P. M., & Chamberlain, R. W. (2012). The value of applied research: Retrieval practice improves classroom learning and recommendations from a teacher, a principal, and a scientist. *Educational Psychology Review*, *24*(3), 437-448. DOI: 10.1007/s10648-012-9210-2.

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, *33*(2), 131-152. DOI: 10.1016/S0360-1315(99)00029-9.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and instruction*, *16*(3), 183-198. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2006.03.001.

Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive science*, *27*(4), 669-681. DOI: 10.1016/S0364-0213(03)00033-8.

Alamargot, D., Caporossi, G., Chesnet, D., & Ros, C. (2011). What makes a skilled writer? Working memory and audience awareness during text composition. *Learning and Individual Differences*, *21*(5), 505-516.DOI: 10.1016/j.lindif.2011.06.001.

Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C., & Ros, C. (2006). Eye and pen: A new device for studying reading during writing. *Behavior Research Methods*, *38*(2), 287-299. DOI: 10.3758/BF03192780.

Alamargot, D., Dansac, C., Ros, C., & Chuy, M. (2005). Rédiger un texte procédural à partir de sources: Relations entre l'empan de mémoire de travail et l'activité oculaire du scripteur. In D. Alamargot, P. Terrier, & J. M. Cellier (Eds.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp. 51-68). Toulouse: Octarès.

Alexander, P. A. (2013). Calibration: What is it and why it matters? An introduction to the special issue on calibrating calibration. *Learning and Instruction*, *24*, 1-3. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.10.003.

Alexander, P. A., & Judy, J. E. (1988). The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational research*, *58*(4), 375-404. DOI: 10.3102/00346543058004375.

Alexander, P. A., Murphy, P. K., Woods, B. S., Duhon, K. E., & Parker, D. (1997). College instruction and concomitant changes in students' knowledge, interest, and strategy use: A study of domain learning. *Contemporary Educational Psychology*, *22*(2), 125-146. DOI: 10.1006/ceps.1997.0927.

Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning?. *Journal of Educational Psychology*, Vol 103(1), 1-18. DOI: 10.1037/a0021017.

Anderson, M. C., & Thiede, K. W. (2008). Why do delayed summaries improve metacomprehension accuracy?. *Acta psychologica*, *128*(1), 110-118. DOI: 10.1016/j.actpsy.2007.10.006.

Ariel, R. (2013). Learning what to learn: The effects of task experience on strategy shifts in the allocation of study time. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(6), 1697. DOI: 10.1037/a0033091.

Ariel, R., & Dunlosky, J. (2011). The sensitivity of judgment-of-learning resolution to past test performance, new learning, and forgetting. *Memory & Cognition*, 39, 171–184. DOI: 10.3758/s13421-010-0002-y.

Ariel, R., & Karpicke, J. D. (2017). Improving self-regulated learning with a retrieval practice intervention. *Journal of Experimental Psychology: Applied.* Advance online publication.

Armbruster, B. B., Anderson, T. H., & Ostertag, J. (1987). Does text structure/summarization instruction facilitate learning from expository text?. *Reading research quarterly*, 331-346. DOI: 10.2307/747972.

Arnold, K. M., & McDermott, K. B. (2013). Test-potentiated learning: Distinguishing between direct and indirect effects of tests. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(3), 940. DOI: IO.IO37/aOO29199.

Ausubel, D. P. (1961). In defense of verbal learning. *Educational Theory*, *11*(1), 15-25. DOI: 10.1111/j.1741-5446.1961.tb00038.x.

Ausubel, D. P. (1964). Some psychological and educational limitations of learning by discovery. *The arithmetic teacher*, *11*(5), 290-302.

Azevedo, R. (2005). Using hypermedia as a metacognitive tool for enhancing student learning? The role of selfregulated learning. *Educational Psychologist*, 40(4), 199–209. DOI: 10.1207/s15326985ep4004_2.

Azevedo, R. (2014). Multimedia learning of metacognitive strategies. In R. E. Mayer (Ed.), The Cambridge handbook of multimedia learning (2nd ed., pp. 647–672). Cambridge: Cambridge University Press.

Azevedo, R. (2015). Defining and measuring engagement and learning in science: Conceptual, theoretical, methodological, and analytical issues. *Educational Psychologist*, *50*(1), 84-94. DOI: 10.1080/00461520.2015.1004069.

Azevedo, R., & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, *13*(2), 111-127. DOI: 10.2190/9lmd-3u28-3a0g-ftqt.

Azevedo, R., & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 523– 535. DOI: 10.1037/0022-0663.96.3.523.

Azevedo, R., Cromley, J. G., & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? Contemporary Educational Psychology, 29, 344–370. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2003.09.002.

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(1), 87–111. DOI: 10.2190/dvwx-gm1t-6thq-5wc7.

Azevedo, R., & Hadwin, A. F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition–Implications for the design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, *33*(5), 367-379. DOI: 10.1007/s11251-005-1272-9.

Azevedo, R., Moos, D. C., Johnson, A. M., & Chauncey, A. D. (2010). Measuring cognitive and metacognitive regulatory processes during hypermedia learning: Issues and challenges. *Educational Psychologist*, 45(4), 210–223. DOI: 10.1080/00461520.2010.515934.

Azevedo, R., & Witherspoon, A.M. (2008) Self-Regulated Learning with Hypermedia. In D.J. Hacker, J. Dunlosky & A.C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education*, 319-339. New York: Routledge.

B

Bahrick, H. P., & Hall, L. K. (2005). The importance of retrieval failures to long-term retention: a metacognitive explanation of the spacing effect. *Journal of Memory and Language*, 52, 566–577. DOI: 10.1016/j.jml.2005.01.012.

Baker, L., & Brown, A. L. (1984). Metacognitive skills and reading. In P. D. Pearson, R. Barr, M. L. Kamil, & P. Mosenthal (Eds.), *Handbook of Reading Research* (pp. 353-394). New York: Longman.

Bandura, A. (1986). The explanatory and predictive scope of self-efficacy theory. *Journal of social and clinical psychology*, *4*(3), 359-373.

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*(1), 39-58. DOI: 10.1007/s11409-007-9009-6.

Bannert, M., & Mengelkamp, C. (2013). Scaffolding hypermedia learning through metacognitive prompts. In R. Azevedo & V. Aleven (Eds.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 171– 186). New York: Springer.

Bannert, M., & Reimann, P. (2012). Supporting self-regulated hypermedia learning through prompts. *Instructional Science*, 193-211. DOI: 10.1007/s11251-011-9167-4.

Bannert, M., Reimann, P., & Sonnenberg, C. (2014). Process mining techniques for analysing patterns and strategies in students' self-regulated learning. *Metacognition and Learning*, 9(2), 161–185. DOI: 10.1007/s11409-013-9107-6.

Bannert, M., Sonnenberg, C., Mengelkamp, C., & Pieger, E. (2015). Short-and long-term effects of students' self-directed metacognitive prompts on navigation behavior and learning performance. *Computers in Human Behavior*, *52*, 293-306. DOI: 10.1016/j.chb.2015.05.038.

Barber, L. K., Bagsby, P. G., Grawitch, M. J., & Buerck, J. P. (2011). Facilitating self-regulated learning with technology: evidence for studentmotivation and exam improvement. Teaching of Psychology, 38(4), 303–308. DOI: 10.1177/0098628311421337.

Barnett, J. E., Di Vesta, F. J., & Rogozinski, J. T. (1981). What is learned in note taking?. *Journal of Educational Psychology*, *73*(2), 181. DOI: 10.1037/0022-0663.73.2.181.

Belland, B. R., Kim, C., & Hannafin, M. J. (2013). A framework for designing scaffolds that improve motivation and cognition. *Educational psychologist*, *48*(4), 243-270. DOI: 10.1080/00461520.2013.838920.

Benjamin, A. S., & Pashler, H. (2015). The value of standardized testing: A perspective from cognitive psychology. *Policy Insights From the Behavioral and Brain Sciences*, *2*(1), 13-23. DOI: 10.1177/2372732215601116.

Berger, J. L. (2013). Motivation et métacognition: les buts de compétence prédisent les processus métacognitifs en résolution de problèmes mathématiques. *Psychologie française*, *58*(4), 297-318. DOI: 10.1016/j.psfr.2013.07.002.

Berney, S., & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, *101*, 150-167. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.06.005.

Bigozzi, L., Tarchi, C., Vagnoli, L., Valente, E., & Pinto, G. (2017). Reading fluency as a predictor of school outcomes across grades 4–9. *Frontiers in psychology*, *8*. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00200.

Binbaşaran-Tüysüzoğlu, B., & Greene, J. A. (2015). An investigation of the role of contingent metacognitive behavior in self-regulated learning. *Metacognition and Learning*, 10(1), 77–98. DOI: 10.1007/s11409-014-9126-y.

Bjork, R. A. (1994). Memory and metamemory consider-ations in the training of human beings. In J. Metcalfe & A. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 185–205). Cambridge, MA: MIT Press.

Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In, R. W. Pew, L. M. Hough, & J. R. Pomerantz (Eds.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (pp. 56–64). Washington, DC: FABBS Foundation.

Bjork, R. A., Dunlosky, J., & Kornell, N. (2013). Self-regulated learning: beliefs, techniques, and illusions*. Annual Review of Psychology,* 64(1), 417–444. DOI: 10.1146/annurev-psych-113011-143823.

Bjork, E. L., Soderstrom, N. C., & Little, J. L. (2015). Can multiple-choice testing induce desirable difficulties? Evidence from the laboratory and the classroom. *The American journal of psychology*, *128*(2), 229-239. DOI: 10.5406/amerjpsyc.128.2.0229.

Blunt, J. R., & Karpicke, J. D. (2014). Learning with retrieval-based concept mapping. *Journal of Educational Psychology*, *106*(3), 849. DOI: 10.1037/a0035934.

Bol, L., & Hacker, D. J. (2001). A comparison of the effects of practice tests and traditional review on performance and calibration. *The Journal of Experimental Education*, *69*(2), 133-151. DOI: 10.1080/00220970109600653.

Bol, L., & Hacker, D. J. (2012). Calibration research: where do we go from here?. *Frontiers in psychology*, *3*. DOI: 10.3389/fpsyg.2012.00229.

Boucheix, J. M., Lowe, R. K., Putri, D. K., & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, *25*, 71-84. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.11.005.

Bower, G. H. (1970). Imagery as a relational organizer in associative learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *9*(5), 529-533. DOI: 10.1016/S0022-5371(70)80096-2.

Bretzing, B. H., & Kulhavy, R. W. (1979). Notetaking and depth of processing. *Contemporary Educational Psychology*, *4*(2), 145-153. DOI: 10.1016/0361-476X(79)90069-9.

Bretzing, B. H., & Kulhavy, R. W. (1981). Note-taking and passage style. *Journal of Educational Psychology*, *73*(2), 242. DOI: 10.1037/0022-0663.73.2.242.

Britt, M. A., Richter, T., & Rouet, J. F. (2014). Scientific literacy: The role of goal-directed reading and evaluation in understanding scientific information. *Educational Psychologist*, *49*(2), 104-122. DOI: 10.1080/00461520.2014.916217.

Brown, A. L. (1978). Knowing when, where and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in Instructional Psychology* (pp. 77-165). New York: Halsted Press.

Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert, & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding* (pp. 65-116). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Bruner, J. S. (1957). Going beyond the information given. *Contemporary approaches to cognition*, *1*(1), 119-160.

Bruner, J. S. (1961). The art of discovery. Harvard Educational Review, 31, 21–32.

Buil I., Catalán S. & Martínez E. (2016). Do clickers enhance learning? A controlvalue theory approach, *Computers & Education,* DOI: 10.1016/j.compedu.2016.10.009.

Butcher, K. R. (2014). The Multimedia Principle. In R. E. Mayer, *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Edition, pp. 174-205). New York, NY, US: Cambridge University Press.

Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: a theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245–281. DOI: 10.3102/00346543065003245.

C

Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational psychology review*, *14*(1), 5-26. DOI: 10.1023/a:1013176309260.

Carpenter, S. K. (2012). Testing enhances the transfer of learning. *Current directions in psychological science*, *21*(5), 279-283. DOI: 10.1177/0963721412452728.

Caviola, S., Carey, E., Mammarella, I. C., & Szucs, D. (2017). Stress, time pressure, strategy selection and math anxiety in mathematics: A review of the literature. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1488. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01488.

Cerdan, R., Martı´nez, T., Vidal-Abarca, E., Gilabert, R., Gil, L., & Rouet, J.-F. (2009) Search and comprehension processes in learning from text. In J.-F. Rouet, R. Lowe, & W. Schnotz (Eds.), *Understanding multimedia documents*. New York: Springer, in press.

Chan, J. C. (2010). Long-term effects of testing on the recall of nontested materials. *Memory*, *18*(1), 49-57. DOI: 10.1080/09658210903405737.

Chan, J. C., McDermott, K. B., & Roediger III, H. L. (2006). Retrieval-induced facilitation: initially nontested material can benefit from prior testing of related material. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(4), 553. DOI: 10.1037/0096-3445.135.4.553.

Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational psychology review*, *3*(3), 149-210. DOI: 10.1007/bf01320076.

Clark, D. A., & Svinicki, M. (2015). The effect of retrieval on post-task enjoyment of studying. *Educational Psychology Review*, *27*(1), 51-67. DOI: 10.1007/s10648-014-9272-4.

Cojean, S., & Jamet, E. (2017). Facilitating information-seeking activity in instructional videos: The combined effects of micro-and macroscaffolding. *Computers in Human Behavior*, *74*, 294-302. DOI: 10.1016/j.chb.2017.04.052.

Corsini, D. A., Pick, A. D., & Flavell, J. H. (1968). Production deficiency of nonverbal mediators in young children. *Child Development*, 53-58. DOI: 10.2307/1127357.

Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *11*(6), 671-684. DOI: 10.1016/s0022-5371(72)80001-x.

Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of experimental Psychology: general*, *104*(3), 268. DOI: 10.1037/0096-3445.104.3.268.

Cromley, J. G. (2009). Reading achievement and science proficiency: International comparisons from the programme on international student assessment. *Reading Psychology*, *30*(2), 89-118. DOI: 10.1080/02702710802274903.

Cromley, J. G., & Azevedo, R. (2007). Testing and refining the direct and inferential mediation model of reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, *99*(2), 311. DOI: 10.1037/0022-0663.99.2.311.

Cromley, J., & Azevedo, R. (2011). Measuring strategy use in context with multiple-choice items. *Metacognition and Learning*, *6*(2), 155-177. 10.1007/s11409-011-9070-z.

Cromley, J. G., Bergey, B. W., Fitzhugh, S., Newcombe, N., Wills, T. W., Shipley, T. F., & Tanaka, J. C. (2013). Effects of three diagram instruction methods on transfer of diagram comprehension skills: The critical role of inference while learning. *Learning and Instruction*, *26*, 45-58. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2013.01.003.

Cromley, J. G., Perez, T. C., Fitzhugh, S. L., Newcombe, N. S., Wills, T. W., & Tanaka, J. C. (2013). Improving students' diagram comprehension with classroom instruction. *The Journal of Experimental Education*, *81*(4), 511-537. DOI: 10.1080/00220973.2012.745465.

Cromley, J. G., Snyder-Hogan, L. E., & Luciw-Dubas, U. A. (2010a). Cognitive activities in complex science text and diagrams. *Contemporary Educational Psychology*, *35*(1), 59-74. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2009.10.002

Cromley, J. G., Snyder-Hogan, L. E., & Luciw-Dubas, U. A. (2010b). Reading comprehension of scientific text: A domain-specific test of the direct and inferential mediation model of reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, *102*(3), 687. DOI: 10.1037/a0019452.

D

De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2012). Exploring the potential impact of reciprocal peer tutoring on higher education students' metacognitive knowledge and regulation. *Instructional science*, *40*(3), 559-588. DOI: 10.1007/s11251-011-9190-5.

de Bruin, A. B., Thiede, K. W., Camp, G., & Redford, J. (2011). Generating keywords improves metacomprehension and self-regulation in elementary and middle school children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(3), 294-310. DOI: 10.1016/j.jecp.2011.02.005.

Denton, C. A., Enos, M., York, M. J., Francis, D. J., Barnes, M. A., Kulesz, P. A., Fletcher, J. M. & Carter, S. (2015). Text-Processing Differences in Adolescent Adequate and Poor Comprehenders Reading Accessible and Challenging Narrative and Informational Text. *Reading Research Quarterly*, *50*(4), 393-416. DOI: 10.1002/rrq.105.

Denton, C. A., Wolters, C. A., York, M. J., Swanson, E., Kulesz, P. A., & Francis, D. J. (2015). Adolescents' use of reading comprehension strategies: Differences related to reading proficiency, grade level, and gender. *Learning and Individual Differences*, *37*, 81-95. DOI: 10.1016/j.lindif.2014.11.016.

DiFrancesca, D., Nietfeld, J. L., & Cao, L. (2016). A comparison of high and low achieving students on self-regulated learning variables. *Learning and Individual Differences*, *45*, 228-236. DOI: 10.1016/j.lindif.2015.11.010.

Dignath, C., Buettner, G., & Langfeldt, H. P. (2008). How can primary school students learn self-regulated learning strategies most effectively?: A meta-analysis on self-regulation training programmes. *Educational Research Review*, *3*(2), 101-129. DOI: 10.1016/j.edurev.2008.02.003

Dinsmore, D. L., & Alexander, P. A. (2012). A critical discussion of deep and surface processing: What it means, how it is measured, the role of context, and model specification. *Educational Psychology Review*, *24*(4), 499-567. DOI: 10.1007/s10648-012-9198-7.

Dinsmore, D. L., & Alexander, P. A. (2016). A multidimensional investigation of deep-level and surface-level processing. *The Journal of Experimental Education*, *84*(2), 213-244. DOI: 10.1080/00220973.2014.979126.

Dinsmore, D. L., Alexander, P. A., & Loughlin, S. M. (2008). Focusing the conceptual lens on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, *20*(4), 391-409. DOI: 10.1007/s10648-008-9083-6.

Donker, A. S., De Boer, H., Kostons, D., van Ewijk, C. D., & Van der Werf, M. P. C. (2014). Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: A meta-analysis. *Educational Research Review*, *11*, 1-26. DOI: 10.1016/j.edurev.2013.11.002.

Droop, M., van Elsäcker, W., Voeten, M. J., & Verhoeven, L. (2016). Long-term effects of strategic reading instruction in the intermediate elementary grades. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, *9*(1), 77-102. DOI: 10.1080/19345747.2015.1065528.

Duffy, M. C., & Azevedo, R. (2015). Motivation matters: Interactions between achievement goals and agent scaffolding for self-regulated learning within an intelligent tutoring system. *Computers in Human Behavior*, *52*, 338-348. DOI: 10.1016/j.chb.2015.05.041.

Duffy, G. G., Roehler, L. R., & Herrmann, B. A. (1988). Modeling mental processes helps poor readers become strategic readers. *The reading teacher*, *41*(8), 762-767.

Dunlosky, J., & Ariel, R. (2011). Self-regulated learning and the allocation of study time. *Psychology of Learning and Motivation, 54,* 103–140. DOI: 10.1016/b978-0-12-385527-5.00004-8.

Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1997). Older and younger adults use a functionally identical algorithm to select items for restudy during multitrial learning. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *52*(4), 178-186. DOI: 10.1093/geronb/52b.4.p178.

Dunlosky, J., & Lipko, A. R. (2007). Metacomprehension: A brief history and how to improve its accuracy. *Current Directions in Psychological Science*, 16(4), 228–232. DOI:10.1111/j.1467-8721.2007.00509.x.

Dunlosky, J., & Nelson, T. O. (1992). Importance of the kind of cue for judgments of learning (JOL) and the delayed-JOL effect. *Memory & Cognition*, *20*(4), 374-380. DOI: 10.3758/bf03210921.

Dunlosky, J., & Rawson, K. A. (2012). Overconfidence produces underachievement: Inaccurate self-evaluations undermine students' learning and retention. *Learning and Instruction*, 22(4), 271–280. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2011.08.003.

Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4–58. DOI: 10.1177/1529100612453266.

Dunlosky, J., & Thiede, K. W. (2013). Four cornerstones of calibration research: Why understanding students' judgments can improve their achievement. *Learning and Instruction*, 24, 58–61. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.05.002.

Dupeyrat, C., Escribe, C., Huet, N., & Régner, I. (2011). Positive biases in self-assessment of mathematics competence, achievement goals, and mathematics performance. *International Journal of Educational Research*, *50*(4), 241-250. DOI: 10.1016/j.ijer.2011.08.005.

Dutke, S., Barenberg, J., & Leopold, C. (2010). Learning from text: Knowing the test format enhanced metacognitive *monitoring*. *Metacognition and Learning*, *5*(2), 195-206. DOI: 10.1007/s11409-010-9057-1.

E

Edmonds, M. S., Vaughn, S., Wexler, J., Reutebuch, C., Cable, A., Tackett, K. K., & Schnakenberg, J. W. (2009). A synthesis of reading interventions and effects on reading comprehension outcomes for older struggling readers. *Review of educational research*, *79*(1), 262-300. DOI: 10.3102/0034654308325998.

Eitel, A. (2016). How repeated studying and testing affects multimedia learning: Evidence for adaptation to task demands. *Learning and Instruction*, 41, 70-84. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2015.10.003.

Eitel, A. & Scheiter, K. (2016) Implementation Intentions to Process Pictures Early Foster Comprehension. *EARLI SIG2 conference on Comprehension of Text and Graphics, July 11-13*, Geneva, Switzerland.

Elleman, A. M. (2017). Examining the Impact of Inference Instruction on the Literal and Inferential Comprehension of Skilled and Less Skilled Readers: A Meta-Analytic Review. *Journal of Educational Psychology*. Advance online publication. DOI: 10.1037/edu0000180.

Eme, E., & Rouet, J. F. (2001). Les connaissances métacognitives en lecture-compréhension chez l'enfant et l'adulte. *Enfance*, *53*(4), 309-328. DOI: 10.3917/enf.534.0309.

Eme, E., & Rouet, J. F. (2002). Aspects métacognitifs dans l'apprentissage de la lecture-compréhension. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 31/1. DOI: 10.4000/osp.4871.

England, B. D., & Serra, M. J. (2012). The contributions of anchoring and past-test performance to the underconfidence-with-practice effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*(4), 715-722. DOI: 10.3758/s13423-012-0237-7.

Erhel, S., & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers & Education*, *67*, 156-167. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.02.019.

Erhel, S., & Jamet, E. (2016). The effects of goal-oriented instructions in digital game-based learning. *Interactive Learning Environments*, *24*(8), 1744-1757. DOI: 10.1080/10494820.2015.1041409.

Ericsson, K. A. (2006). Protocol analysis and expert thought: Concurrent verbalizations of thinking during experts' performance on representative tasks. *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, 223-242.

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis*. Cambridge, MA: MIT press.

F

Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. I. (2000). Executive attention and metacognitive regulation. *Consciousness and cognition*, *9*(2), 288-307. DOI: 10.1006/ccog.2000.0447.

Finn, B., & Metcalfe, J. (2007). The role of memory for past test in the underconfidence with practice effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(1), 238. DOI: 10.1037/0278-7393.33.1.238.

Finn, B., & Metcalfe, J. (2008). Judgments of learning are influenced by memory for past test. *Journal of memory and language*, *58*(1), 19-34. DOI: 10.1016/j.jml.2007.03.006.

Finn, B., Tauber, S. K., & Tauber, U. (2015). When confidence is not a signal of knowing: How students' experiences and beliefs about processing fluency can lead to miscalibrated confidence. *Educational Psychology Review*, 27(4), 567–586. DOI: 10.1007/s10648-015-9313-7.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2013). The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy. *Contemporary Educational Psychology*, *38*(4), 281-288. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2013.06.001.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, *39*(2), 75-85. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2014.01.001.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review*, *28*(4), 717-741. DOI: 10.1007/s10648-015-9348-9.

Flavell, J. H. (1970). Developmental studies of mediated memory. *Advances in child development and behavior*, *5*, 181-211. DOI: 10.1016/S0065-2407(08)60467-X.

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive *monitoring*: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American psychologist*, *34*(10), 906. DOI: 10.1037/0003-066X.34.10.906.

Flavell, J. H. (2004). Theory-of-mind development: Retrospect and prospect. *Merrill-Palmer Quarterly*, *50*(3), 274-290. DOI: 10.1353/mpq.2004.0018.

Flavell, J. H., Beach, D. R., & Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child development*, 283-299. DOI: 10.2307/1126804.

Flavell, J. H., Friedrichs, A. G., & Hoyt, J. D. (1970). Developmental changes in memorization processes. *Cognitive psychology*, *1*(4), 324-340. DOI: 10.1016/0010-0285(70)90019-8.

Fox, E. (2009). The role of reader characteristics in processing and learning from informational text. *Review of Educational Research*, *79*(1), 197-261. DOI: 10.3102/0034654308324654.

Freedman, J. L., & Landauer, T. K. (1966). Retrieval of long-term memory:"Tip-of-the-tongue" phenomenon. *Psychonomic Science*, *4*(8), 309-310. DOI: 10.3758/BF03342310.

Frey, A. (2015). Eye movements in children during reading: a review. In *Actes du Symposium international sur la litéracie à l'école/International Symposium for Educational Literacy (SILE/ISEL) 2015* (pp. 69-90). Les Éditions de l'université de Sherbrooke, 2016.

Fukaya, T. (2013). Explanation generation, not explanation expectancy, improves metacomprehension accuracy. *Metacognition and learning*, *8*(1), 1-18. DOI: 10.1007/s11409-012-9093-0.

G

Gagnière, L. (2010). *Comment inciter les régulations métacognitives pour favoriser la résolution de problèmes mal structurés ?,* Thèse de doctorat en psychologie, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'Université de Genève.

Gersten, R., Fuchs, L. S., Williams, J. P., & Baker, S. (2001). Teaching reading comprehension strategies to students with learning disabilities: A review of research. *Review of Educational Research*, *71*(2), 279-320. DOI: 10.3102/00346543071002279.

Glenberg, A. M., & Epstein, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 11,* 702-718. DOI: 10.1037/0278-7393.11.1-4.702.

Glenberg, A. M., Sanocki, T., Epstein, W., & Morris, C. (1987). Enhancing calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(2), 119. DOI: 10.1037/0096-3445.116.2.119.

Graesser, A. C., D'Mello, S., & Cade, W. (2011). Instruction based on tutoring. In R.E. Mayer and P.A. Alexander (Eds.), *Handbook of Research on Learning and Instruction*. New York: Routledge Press.

Greene, J. A., & Azevedo, R. (2007a). Adolescents' use of self-regulatory processes and their relation to qualitative mental model shifts while using hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, 36(2), 125–148. DOI: 10.2190/g7m1-2734-3jrr-8033.

Greene, J. A., & Azevedo, R. (2007b). A theoretical review of Winne and Hadwin's model of self-regulated learning: new perspectives and directions. *Review of Educational Research*, 77(3), 334–372. DOI: 10.3102/003465430303953.

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(1), 18–29. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2008.05.006.

Greene, J. A., & Azevedo, R. (2010). The measurement of learners' self-regulated cognitive and metacognitive processes while using computer-based learning environments. *Educational psychologist*, *45*(4), 203-209. DOI: 10.1080/00461520.2010.515935.

Greene, J. A., Bolick, C. M., Jackson, W. P., Caprino, A. M., Oswald, C., & McVea, M. (2015). Domain specificity of self-regulated learning processing in science and history. *Contemporary Educational Psychology*, 42, 111–128. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2015.06.001.

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*(1), 230-243. DOI: 10.1016/j.compedu.2009.08.006.

Greene, J. A., Costa, L. J., & Dellinger, K. (2011). Analysis of self-regulated learning processing using statistical models for count data. *Metacognition and Learning*, *6*(3), 275-301. DOI: 10.1007/s11409-011-9078-4.

Greene, J. A., Dellinger, K. R., Tüysüzoğlu, B. B.,& Costa, L.-J. (2013). A two-tiered approach to analyzing selfregulated learning data to inform the design of hypermedia learning environments. In R. Azevedo & V. Aleven (Eds.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 117–128). New York: Springer.

Greene, J. A., Robertson, J., & Costa, L. C. (2011c). Assessing self-regulated learning using think-aloud protocol methods. In B. J. Zimmerman & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 313–328). New York: Routledge Publishers.

Greene, J. A., Yu, S. B., & Copeland, D. Z. (2014). Measuring critical components of digital literacy and their relationships with learning. Computers & Education, 76, 55–69. DOI: 10.1016/j.compedu.2014.03.008.

Griffin, T. D., Wiley, J., & Salas, C. R. (2013). Supporting effective self-regulated learning: the critical role of *monitoring*. In R. Azevedo & V. Aleven (Eds.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 19–34). New York: Springer.

Griffin, T. D., Wiley, J., & Thiede, K. W. (2008). Individual differences, rereading, and selfexplanation: Concurrent processing and cue validity as constraints on metacomprehension accuracy. *Memory & Cognition*, 36(1), 93–103. DOI: 10.3758/mc.36.1.93.

Grimaldi, P. J., & Karpicke, J. D. (2012). When and why do retrieval attempts enhance subsequent encoding?. *Memory & Cognition*, *40*(4), 505-513. DOI: 10.3758/s13421-011-0174-0.

Gutierrez de Blume, A. P. (2017). The effects of strategy training and an extrinsic incentive on fourth-and fifth-grade students' performance, confidence, and calibration accuracy. *Cogent Education*, *4*(1), 1314652. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1314652.

Gutierrez, A. P., & Schraw, G. (2015). Effects of strategy training and incentives on students' performance, confidence, and calibration. *The Journal of Experimental Education*, 83(3), 386–40x4. DOI: 10.1080/00220973.2014.907230.

H

Hadwin, A. F., & Webster, E. A. (2013). Calibration in goal setting: examining the nature of judgments of confidence. *Learning and Instruction*, 24, 37–47. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.10.001.

Hadwin, A. F., & Winne, P. H. (1996). Study strategies have meager support: A review with recommendations for implementation. *The Journal of Higher Education*, *67*(6), 692-715.

Hanczakowski, M., Zawadzka, K., Pasek, T., & Higham, P. A. (2013). Calibration of metacognitive judgments: Insights from the underconfidence-with-practice effect. *Journal of Memory and Language*, *69*(3), 429-444. DOI: 10.1016/j.jml.2013.05.003.

Harris, K. R., Alexander, P., & Graham, S. (2008). Michael Pressley's contributions to the history and future of strategies research. *Educational Psychologist*, *43*(2), 86-96. DOI: 10.1080/00461520801942300

Harrison, G. M., & Vallin, L. M. (2017). Evaluating the metacognitive awareness inventory using empirical factor-structure evidence. *Metacognition and Learning*, 1-24. Advance online publication. DOI: 10.1007/s11409-017-9176-z

Hart, J. T. (1965). Memory and the feeling-of-knowing experience. *Journal of Educational Psychology*, *56*, 208–216. DOI: 10.1037/h0022263.

Hart, J. T. (1966). Methodological note on feeling-of-knowing experiments. *Journal of Educational Psychology*, *57*(6), 347-349. DOI: 10.1037/h0023915.

Hart, J. T. (1967). Memory and the memory-*monitoring* process. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *6*(5), 685-691. DOI: 10.1016/S0022-5371(67)80072-0.

Hartwig, M. K., & Dunlosky, J. (2012). Study strategies of college students: Are self-testing and scheduling related to achievement?. *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*(1), 126-134. DOI: 10.3758/s13423-011-0181-y.

Hattie, J. (2013). Calibration and confidence: where to next?. *Learning and Instruction*, *24*, 62-66. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.05.009.

Hattie, J., Biggs, J., & Purdie, N. (1996). Effects of learning skills interventions on student learning: A meta-analysis. *Review of educational research*, *66*(2), 99-136. DOI: 10.3102/00346543066002099.

Hattie, J. A., & Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: a synthesis and conceptual model. *npj Science of Learning*, *1*, 16013. DOI: 10.1038/npjscilearn.2016.13.

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, *77*(1), 81-112. DOI: 10.3102/003465430298487.

Hattie, J., & Yates, G. C. (2013). *Visible learning and the science of how we learn*. Routledge.

Hayes, A. F. (2013). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. Guilford Press.

Hayes, A. F., & Preacher, K. J. (2014). Statistical mediation analysis with a multicategorical independent variable. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, *67*(3), 451-470. DOI:10.1111/bmsp.12028.

Healy, A. F., Jones, M., Lalchandani, L. A., & Tack, L. A. (2017). Timing of quizzes during learning: Effects on motivation and retention. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *23*(2), 128. DOI: 10.1037/xap0000123.

Hertzog, C., Hines, J. C., & Touron, D. R. (2013). Judgments of learning are influenced by multiple cues in addition to memory for past test accuracy. *Archives of Scientific Psychology*, 1(1), 23. DOI: 10.1037/arc0000003.

Huet, N., Escribe, C., Dupeyrat, C., & Sakdavong, J. C. (2011). The influence of achievement goals and perceptions of online help on its actual use in an interactive learning environment. *Computers in Human Behavior*, *27*(1), 413-420. DOI: 10.1016/j.chb.2010.09.003.

Huet, N., & Mariné, C. (1998). Techniques d'évaluation de la métacognition. II-Les mesures dépendantes de l'exécution de tâches. *Année psychologique*, *98*(4), 727-742. DOI: 10.3406/psy.1998.28566.

Hunsu, N. J., Adesope, O., & Bayly, D. J. (2016). A meta-analysis of the effects of audience response systems (clicker-based technologies) on cognition and affect. *Computers & Education*, *94*, 102-119. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.11.013.

I

Izawa, C. (1967). Function of test trials in paired-associate learning. *Journal of experimental psychology*, *75*(2), 194. DOI: 10.1037/h0024971.

Izawa, C. (1970). Optimal potentiating effects and forgetting-prevention effects of tests in paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology*, *83*(2p1), 340. DOI: 10.1037/h0028541.

Izawa, C. (1971). The test trial potentiating model. *Journal of Mathematical Psychology*, 8(2), 200–224. DOI: 10.1016/0022-2496(71)90012-5.

J

Jaeger, A. J., & Wiley, J. (2014). Do illustrations help or harm metacomprehension accuracy? *Learning and Instruction*, 34, 58-73. DOI: 10.1080/0163853x.2015.1026679.

Jaeger, A. J., & Wiley, J. (2015). Reading an analogy can cause the illusion of comprehension. *Discourse Processes*, *52*(5-6), 376-405. DOI: 10.1080/0163853X.2015.1026679.

Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, *32*, 47-53. DOI: 10.1016/j.chb.2013.11.013.

Jamet, E., & Fernandez, J. (2016). Enhancing interactive tutorial effectiveness through visual cueing. *Educational Technology Research and Development*, *64*(4), 631-641. DOI: 10.1007/s11423-016-9437-6.

Jamet, E., Gavota, M., & Quaireau, C. (2008). Attention guiding in multimedia learning. *Learning and instruction*, *18*(2), 135-145. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2007.01.011.

Jemstedt, A., Kubik, V., & Jönsson, F. U. (2017). What moderates the accuracy of ease of learning judgments?. *Metacognition and Learning*, 1-19. Advance online publication. DOI: 10.1007/s11409-017-9172-3.

Jing, H. G., Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2016). Interpolated testing influences focused attention and improves integration of information during a video-recorded lecture. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 22,* 305–318. DOI: 10.1037/xap0000087.

Johnson-Laird, P. N. (2004). The history of mental models. In K. Manktelow & M. C. Chung (Eds.), *Psychology of reasoning: Theoretical and historical perspectives* (pp. 179212). New York, NY: Psychology Press.

K

Kardash, C. M., & Amlund, J. T. (1991). Self-reported learning strategies and learning from expository text. *Contemporary Educational Psychology*, *16*(2), 117-138. DOI: 10.1016/0361-476X(91)90032-G.

Karpicke, J. D. (2009). Metacognitive control and strategy selection: deciding to practice retrieval during learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *138*(4), 469. DOI: 10.1037/a0017341.

Karpicke, J. D. (2017). Retrieval-based learning: A decade of progress. In J. Wixted (Ed.), *Cognitive psychology of memory, Vol. 2 of Learning and memory: A comprehensive reference* (J. H. Byrne, Series Ed.). Advance online publication.

Karpicke, J. D., & Aue, W. R. (2015). The testing effect is alive and well with complex materials. *Educational Psychology Review*, *27*(2), 317-326. DOI: 10.1007/s10648-015-9309-3.

Karpicke, J. D., Butler, A. C., & Roediger III, H. L. (2009). Metacognitive strategies in student learning: do students practise retrieval when they study on their own?. *Memory*, *17*(4), 471-479. DOI:10.1080/09658210802647009.

Keeney, T. J., Cannizzo, S. R., & Flavell, J. H. (1967). Spontaneous and induced verbal rehearsal in a recall task. *Child development*, 953-966. DOI: 10.2307/1127095.

Kelemen, W. L., Winningham, R. G., & Weaver III, C. A. (2007). Repeated testing sessions and scholastic aptitude in college students' metacognitive accuracy. *European Journal of Cognitive Psychology*, *19*(4-5), 689-717. DOI: 10.1080/09541440701326170.

Kiewra, K. A. (1985). Investigating notetaking and review: A depth of processing alternative. *Educational Psychologist*, *20*(1), 23-32. DOI: 10.1207/s15326985ep2001_4.

King, J. R., Biggs, S., & Lipsky, S. (1984). Students' self-questioning and summarizing as reading study strategies. *Journal of Literacy Research*, *16*(3), 205-218. DOI: 10.1080/10862968409547516.

King, J. F., Zechmeister, E. B., & Shaughnessy, J. J. (1980). Judgments of knowing: The influence of retrieval practice. *The American Journal of Psychology*, 329–343. DOI: DOI: 10.2307/1422236.

Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological review*, *95*(2), 163. DOI: 10.1037/0033-295X.95.2.163.

Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.

Kintsch, W. (2005). An overview of top-down and bottom-up effects in comprehension: The CI perspective. *Discourse processes*, *39*(2-3), 125-128. DOI: 10.1080/0163853X.2005.9651676.

Kintsch, W. and Rawson, K. A. (2005). Comprehension. in M. J. Snowling and C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A Handbook*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. DOI: 10.1002/9780470757642.ch12.

Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological review*, *85*(5), 363. DOI: 10.1037/0033-295X.85.5.363.

Kirschner, P. A. (2017). Stop propagating the learning styles myth. *Computers & Education*, Advance online publication. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.12.006.

Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. (2013). Do learners really know best? Urban legends in education. *Educational psychologist*, *48*(3), 169-183.

Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, *41*(2), 75-86. DOI: 10.1207/s15326985ep4102_1.

Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological science*, *15*(10), 661-667.

Kleinsz, N., Potocki, A., Ecalle, J., & Magnan, A. (2017). Profiles of French poor readers: Underlying difficulties and effects of computerized training programs. *Learning and Individual Differences*, *57*, 45-57. DOI: 10.1016/j.lindif.2017.05.009.

Koriat, A. (1997). *Monitoring* one's own knowledge during study: A cue-utilization approach to judgments of learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126(4), 349. DOI: 10.1037/0096-3445.126.4.349.

Koriat, A. (2007). Metacognition and consciousness. In P. D. Zelazo, M. Moscovitch, & E. Thompson (Eds.), *The Cambridge handbook of consciousness* (pp. 289–325). Cambridge: Cambridge University Press.

Koriat, A. (2012). The relationships between *monitoring*, regulation and performance. *Learning and Instruction*, 22(4), 296–298. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.01.002.

Koriat, A., & Bjork, R. A. (2005). Illusions of competence in *monitoring* one's knowledge during study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(2), 187–194. DOI: 10.1037/0278-7393.31.2.187.

Koriat, A., & Bjork, R. A. (2006). Illusions of competence during study can be remedied by manipulations that enhance learners' sensitivity to retrieval conditions at test. *Memory & Cognition*, *34*(5), 959-972. DOI:10.3758/BF03193244.

Koriat, A., & Ma'ayan, H. (2005). The effects of encoding fluency and retrieval fluency on judgments of learning. *Journal of memory and Language*, *52*(4), 478-492. DOI: 10.1016/j.jml.2005.01.001.

Koriat, A., Ma'ayan, H., & Nussinson, R. (2006). The intricate relationships between *monitoring* and control in metacognition: Lessons for the cause-and-effect relation between subjective experience and behavior. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(1), 36–69. DOI: 10.1037/0096-3445.135.1.36.

Koriat, A., Sheffer, L., & Ma'ayan, H. (2002). Comparing objective and subjective learning curves: judgments of learning exhibit increased underconfidence with practice. *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*(2), 147. DOI: 10.1037//0096-3445.131.2.147.

Kornell, N., & Bjork, R. A. (2007). The promise and perils of self-regulated study. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(2), 219-224. DOI: 10.3758/BF03194055.

Kornell, N., Hays, M. J., & Bjork, R. A. (2009). Unsuccessful retrieval attempts enhance subsequent learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(4), 989. DOI: 10.1037/a0015729.

Kornell, N., & Metcalfe, J. (2006). Study efficacy and the region of proximal learning framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *32*(3), 609. DOI: 10.1037/0278-7393.32.3.609.

Kostons, D., & de Koning, B. B. (2017). Does visualization affect *monitoring* accuracy, restudy choice, and comprehension scores of students in primary education?. *Contemporary Educational Psychology*, *51*, 1-10. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2017.05.001.

Kühl, T., Scheiter, K., Gerjets, P., & Gemballa, S. (2011). Can differences in learning strategies explain the benefits of learning from static and dynamic visualizations? *Computers & Education*, *56*(1), 176-187. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.08.008.

L

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, *11*(1), 65-100. DOI: 10.1111/j.1551-6708.1987.tb00863.x.

Leonesio, R. J., & Nelson, T. O. (1990). Do different metamemory judgments tap the same underlying aspects of memory?. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*(3), 464. DOI: 10.1037/0278-7393.16.3.464.

Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communication and Technology*, *30*(4), 195-232. DOI: 10.1007/BF02765184.

Levy, B. A., Abello, B., & Lysynchuk, L. (1997). Transfer from word training to reading in context: Gains in reading fluency and comprehension. *Learning Disability Quarterly*, *20*(3), 173-188. DOI: 10.2307/1511307.

Little, J. L., & Bjork, E. L. (2016). Multiple-choice pretesting potentiates learning of related information. *Memory & cognition*, *44*(7), 1085-1101. DOI:10.3758/s13421-016-0621-z.

Little, J. L., & McDaniel, M. A. (2015). Metamemory *monitoring* and control following retrieval practice for text. *Memory & cognition*, *43*(1), 85-98. DOI: 10.3758/s13421-014-0453-7.

Lorch Jr, R. F., & Lorch, E. P. (1996). Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of educational psychology*, *88*(1), 38. DOI: 10.1037/0022-0663.88.1.38.

Lovelace, E. A. (1984). Metamemory: *Monitoring* future recallability during study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(4), 756. DOI: 10.1037/0278-7393.10.4.756.

Lundeberg, M. A., & Fox, P. W. (1991). Do laboratory findings on test expectancy generalize to classroom outcomes?. *Review of Educational Research*, *61*(1), 94-106. DOI: 10.3102/00346543061001094.

M

Magliano, J. P., Trabasso, T., & Graesser, A. C. (1999). Strategic processing during comprehension. *Journal of Educational Psychology*, *91*(4), 615-629. DOI: 10.1037/0022-0663.91.4.615.

Maillard, A. (2015). *Améliorer l'exactitude de l'auto-évaluation: quels dispositifs pour quels apprenants?* Thèse de doctorat en psychologie, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II.

Maki, R. H., & Serra, M. (1992). Role of practice tests in the accuracy of test predictions on text material. *Journal of Educational Psychology*, *84*(2), 200. DOI: 10.1037/0022-0663.84.2.200.

Mariné, C., & Huet, N. (1998). Techniques d'évaluation de la métacognition. I Les mesures indépendantes de l'exécution de tâches. II Les mesures dépendantes de l'exécution de tâches. *L'année psychologique*, *98*(4), 711-742. DOI: 10.3406/psy.1998.28566.

Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education*, *60*(1), 95-109. DOI: 10.1016/j.compedu.2012.07.011.

Mayer, R. E. (1983). Can you repeat that? Qualitative effects of repetition and advance organizers on learning from science prose. *Journal of Educational Psychology*, *75*(1), 40. DOI: 10.1037/0022-0663.75.1.40.

Mayer, R. E. (1984). Aids to text comprehension. *Educational psychologist*, *19*(1), 30-42. DOI: 10.1080/00461528409529279.

Mayer, R. E. (1989a). Models for understanding. *Review of educational research*, *59*(1), 43-64. DOI: 10.3102/00346543059001043.

Mayer, R. E. (1989b). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of educational psychology*, *81*(2), 240. DOI: 10.1037/0022-0663.81.2.240.

Mayer, R. E. (1992). Cognition and instruction: Their historic meeting within educational psychology. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 405. DOI: 10.1037/0022-0663.84.4.405.

Mayer, R. E. (1996). Learning strategies for making sense out of expository text: The SOI model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational psychology review*, *8*(4), 357-371. DOI: 10.1007/BF01463939.

Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning?. *American psychologist*, *59*(1), 14. DOI: 10.1037/0003-066X.59.1.14.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning (2nd ed.).* New York, NY US: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (2nd ed.)*. Cambridge: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2017). Using multimedia for e-learning. *Journal of Computer Assisted Learning*. Advance online publication. DOI: 10.1111/jcal.12197

Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? Journal of Educational Psychology, 82(4), 715-726. DOI: 10.1037/0022- 0663.82.4.715.

McMaster, K. L., Van den Broek, P., Espin, C. A., White, M. J., Rapp, D. N., Kendeou, P., ... & Carlson, S. (2012). Making the right connections: Differential effects of reading intervention for subgroups of comprehenders. *Learning and Individual Differences*, *22*(1), 100-111. DOI: 10.1016/j.lindif.2011.11.017.

McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and instruction*, *14*(1), 1-43. DOI: 10.1207/s1532690xci1401_1.

McNamara, D. S., Levinstein, I. B., & Boonthum, C. (2004). iSTART: Interactive strategy training for active reading and thinking. *Behavior Research Methods*, *36*(2), 222-233. DOI: 10.3758/bf03195567.

McNamara, D. S., & Magliano, J. P. (2009a). Self-explanation and metacognition. In D.J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education*, 319-339. New York: Routledge.

McNamara, D. S., & Magliano, J. (2009b). Toward a comprehensive model of comprehension. *Psychology of learning and motivation*, *51*, 297-384. DOI: 10.1016/S0079-7421(09)51009-2.

McNamara, D. S., O'Reilly, T. P., Best, R. M., & Ozuru, Y. (2006). Improving adolescent students' reading comprehension with iSTART. *Journal of Educational Computing Research*, *34*(2), 147-171. DOI: 10.2190/1ru5-hdtj-a5c8-jvwe.

Merchie, E., & Van Keer, H. (2014). Using on-line and off-line measures to explore fifth and sixth graders' text-learning strategies and schematizing skills. *Learning and Individual Differences*, *32*, 193-203. DOI: 10.1016/j.lindif.2014.03.012.

Merchie, E., & Van Keer, H. (2016). Mind mapping as a meta-learning strategy: Stimulating pre-adolescents' text-learning strategies and performance?. *Contemporary Educational Psychology*, *46*, 128-147. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2016.05.005.

Métayer, N. (2016). *Compréhension et stratégies d'exploration des documents pédagogiques illustrés.* Thèse de doctorat en psychologie, Université Rennes 2.

Metcalfe, J. (2009). Metacognitive judgments and control of study. *Current Directions in Psychological Science*, 18(3), 159–163. DOI: 10.1111/j.1467- 8721.2009.01628.x.

Metcalfe, J., & Finn, B. (2008). Evidence that judgments of learning are causally related to study choice. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(1), 174–179. DOI: 10.3758/pbr.15.1.174.

Metcalfe, J., & Kornell, N. (2005). A region of proximal learning model of study time allocation. *Journal of memory and language*, *52*(4), 463-477. DOI: 10.1016/j.jml.2004.12.001.

Michinov, N., Morice, J., & Ferrières, V. (2015). A step further in Peer Instruction: Using the Stepladder technique to improve learning. *Computers & Education*, *91*, 1-13. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.09.007.

Mihalca, L., Mengelkamp, C., & Schnotz, W. (2017). Accuracy of metacognitive judgments as a moderator of learner control effectiveness in problem-solving tasks. *Metacognition and Learning*, 1-23. Advance online publication. DOI: 10.1007/s11409-017-9173-2.

Miller, B. W., Cromley, J. G., & Newcombe, N. S. (2016). Improving diagrammatic reasoning in middle school science using conventions of diagrams instruction. *Journal of Computer Assisted Learning*, *32*(4), 374-390. DOI: 10.1111/jcal.12143.

Miller, T. M., & Geraci, L. (2016). The influence of retrieval practice on metacognition: The contribution of analytic and non-analytic processes. *Consciousness and cognition*, *42*, 41-50. DOI: 10.1016/j.concog.2016.03.010.

Mitchum, A. L., Kelley, C. M., & Fox, M. C. (2016). When asking the question changes the ultimate answer: Metamemory judgments change memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *145*(2), 200. DOI: 10.1037/a0039923

Moely, B. E., Olson, F. A., Halwes, T. G., & Flavell, J. H. (1969). Production deficiency in young children's clustered recall. *Developmental Psychology*, *1*(1), 26. DOI: 10.1037/h0026804.

Moos, D. C. (2014). Setting the stage for the metacognition during hypermedia learning: what motivation constructs matter? *Computers & Education, 70*, 128–137. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.08.014.

Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. *Contemporary Educational Psychology*, *33*(2), 270-298. DOI: doi:10.1016/j.cedpsych.2007.03.001.

Moos, D. C., & Azevedo, R. (2009). Self-efficacy and prior domain knowledge: to what extent does *monitoring* mediate their relationship with hypermedia learning? *Metacognition and Learning, 4*(3), 197–216. DOI: 10.1007/s11409-009-9045-5.

Muijselaar, M. M., Swart, N. M., Steenbeek-Planting, E. G., Droop, M., Verhoeven, L., & de Jong, P. F. (2017). Developmental relations between reading comprehension and reading strategies. *Scientific Studies of Reading*, *21*(3), 194-209. DOI: 10.1080/10888438.2017.1278763.

Muis, K. R. (2007). The role of epistemic beliefs in self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 42(3), 173–190. DOI: 10.1080/00461520701416306.

Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I., & Lajoie, S. P. (2016). Learning by preparing to teach: fostering self-regulatory processes and achievement during complex mathematics problem solving. *Journal of Educational Psychology, 108*(4), 474. DOI: 10.1037/edu0000071.

N

National Reading Panel (2000). Report of the national reading panel: Teaching children to read. Rockville, MD: National Institute of Child Health and Human Development.

Nelson, T. O., & Dunlosky, J. (1991). When people's judgments of learning (JOLs) are extremely accurate at predicting subsequent recall: The “delayed-JOL effect”. *Psychological Science*, 2(4), 267–270. DOI: 10.1111/j.1467- 9280.1991.tb00147.x.

Nelson, T. O., & Leonesio, R. J. (1988). Allocation of self-paced study time and the" labor-in-vain effect.". *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*(4), 676. DOI: 10.1037/0278-7393.14.4.676.

Nelson, T. O., & Narens, L. (1990). Metamemory: a theoretical framework and new findings. *The Psychology of Learning and Motivation*, 26, 125–141. DOI: 10.1016/S0079-7421(08)60053-5.

Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Eds.), *Metacognition: knowing about knowing* (pp. 1–25). Cambridge: MIT Press.

Nietfeld, J. L., Cao, L., & Osborne, J. W. (2006). The effect of distributed *monitoring* exercises and feedback on performance, *monitoring* accuracy, and self-efficacy. *Metacognition and Learning*, *1*(2), 159-179. DOI: 10.1007/s10409-006-9595-6.

Nunes, L. D., & Karpicke, J. D. (2015). Retrieval-based learning: research at the interface between cognitive science and education. In R. A. Scott, & S. M. Kosslyn (Eds.), *Emerging trends in the social and behavioral sciences* (pp. 1e16). John Wiley & Sons, Inc.

O

O'Keefe, P. A., Letourneau, S. M., Homer, B. D., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Learning from multiple representations: An examination of fixation patterns in a science simulation. *Computers in Human Behavior*, *35*, 234-242. DOI: 10.1016/j.chb.2014.02.040.

Oakhill, J. V., & Cain, K. (2012). The precursors of reading ability in young readers: Evidence from a four-year longitudinal study. *Scientific studies of reading*, *16*(2), 91-121. DOI: 10.1080/10888438.2010.529219.

Oakhill, J., Cain, K., & McCarthy, D. (2015). Inference processing in children: the contributions of depth and breadth of vocabulary knowledge. *EJ O'Brien, AE Cooke, & R. F Lorch, Jr. Inferences During Reading Cambridge University press Olson, DR, & Torrance*, (1991), 140-159.

Ögren, M., Nyström, M., & Jarodzka, H. (2017). There's more to the multimedia effect than meets the eye: is seeing pictures believing?. *Instructional Science*, *45*(2), 263-287. DOI: 10.1007/s11251-016-9397-6.

P

Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A dual coding approach*. Oxford, England: Oxford University Press.

Palinscar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-*monitoring* activities. *Cognition and instruction*, *1*(2), 117-175. DOI: 10.1207/s1532690xci0102_1.

Panadero, E. (2017). A Review of Self-regulated Learning: Six Models and Four Directions for Research. *Frontiers in Psychology*, *8*. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00422.

Pastötter, B., & Bäuml, K. H. T. (2014). Retrieval practice enhances new learning: the forward effect of testing. *Frontiers in psychology*, *5*. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00286.

Pastötter, B., Schicker, S., Niedernhuber, J., & Bäuml, K. H. T. (2011). Retrieval during learning facilitates subsequent memory encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(2), 287. DOI: 10.1037/a0021801.

Pekrun, R., Goetz, T., Perry, R. P., Kramer, K., Hochstadt, M., & Molfenter, S. (2004). Beyond test anxiety: Development and validation of the Test Emotions Questionnaire (TEQ). *Anxiety, Stress & Coping*, *17*(3), 287-316. DOI: 10.1080/10615800412331303847.

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational psychologist*, *37*(2), 91-105. DOI: 10.1207/S15326985EP3702_4.

Pekrun, R., Hall, N. C., Goetz, T., & Perry, R. P. (2014). Boredom and academic achievement: Testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational Psychology*, *106*(3), 696. DOI: 10.1037/a0036006.

Peper, R. J., & Mayer, R. E. (1978). Note taking as a generative activity. *Journal of Educational Psychology*, *70*(4), 514. DOI: 10.1037/0022-0663.70.4.514.

Perfetti, C., & Stafura, J. (2014). Word knowledge in a theory of reading comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *18*(1), 22-37. DOI: 10.1080/10888438.2013.827687.

Peverly, S. T., Brobst, K. E., Graham, M., & Shaw, R. (2003). College adults are not good at self-regulation: A study on the relationship of self-regulation, note taking, and test taking. *Journal of Educational Psychology*, *95*(2), 335. DOI: 10.1037/0022-0663.95.2.335.

Pieger, E., Mengelkamp, C., & Bannert, M. (2016). Metacognitive judgments and disfluency–Does disfluency lead to more accurate judgments, better control, and better performance? *Learning and Instruction*, *44*, 31-40. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2016.01.012.

Pintrich, P. R. P. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 452–502). New York: Academic Press.

Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of educational psychology*, *82*(1), 33.

Poitras, E. G., & Lajoie, S. P. (2013). A domain-specific account of self-regulated learning: the cognitive and metacognitive activities involved in learning through historical inquiry. *Metacognition and Learning, 8*(3), 213–234. DOI: 10.1007/s11409-013-9104-9.

Ponce, H. R., López, M. J., & Mayer, R. E. (2012). Instructional effectiveness of a computer-supported program for teaching reading comprehension strategies. *Computers & Education*, *59*(4), 1170-1183. DOI:10.1016/j.compedu.2012.05.013.

Ponce, H. R., & Mayer, R. E. (2014). Qualitatively different cognitive processing during online reading primed by different study activities. *Computers in human behavior*, *30*, 121-130. DOI: 10.1016/j.chb.2013.07.054.

Potelle, H., & Rouet, J. F. (2003). Effects of content representation and readers' prior knowledge on the comprehension of hypertext. *International Journal of Human-Computer Studies*, *58*(3), 327-345. DOI: 10.1016/S1071-5819(03)00016-8.

Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior research methods*, *36*(4), 717-731. DOI: 10.3758/bf03206553.

Pressley, M. (1986). The relevance of the good strategy user model to the teaching of mathematics. *Educational Psychologist*, *21*(1-2), 139-161. DOI: 10.1080/00461520.1986.9653028.

Pressley, M. (2002). Metacognition and self-regulated comprehension. *What research has to say about reading instruction*, *3*, 291-309.

Pressley, M., & Afflerbach, P. (1995). *Verbal protocols of reading: The nature of constructively responsive reading*. Routledge.

Pressley, M., Forrest-Pressley, D., Elliott-Faust, D. L., and Miller, G. E. (1985). Children's use of cognitive strategies, how to teach strategies, and what to do if they can't be taught. In Pressley, M., and Brainerd, C. J. (eds.), *Cognitive Learning and Memory in Children,* Springer-Verlag, New York, pp. 1-47.

Pressley, M., & Gaskins, I. W. (2006). Metacognitively competent reading comprehension is constructively responsive reading: how can such reading be developed in students?. *Metacognition and Learning*, *1*(1), 99-113. DOI: 10.1007/s11409-006-7263-7

Pressley, M., & Ghatala, E. S. (1989). Metacognitive benefits of taking a test for children and young adolescents. *Journal of Experimental Child Psychology*, *47*(3), 430-450. DOI: 10.1016/0022-0965(89)90023-4.

Pressley, M., & Ghatala, E. S. (1990). Self-regulated learning: *Monitoring* learning from text. *Educational Psychologist*, *25*(1), 19-33. DOI: 10.1207/s15326985ep2501_3.

Pressley, M., Goodchild, F., Fleet, J., Zajchowski, R., & Evans, E. D. (1989). The challenges of classroom strategy instruction. *The Elementary School Journal*, *89*(3), 301-342. DOI: 10.1086/461578.

Pressley, M., & Hilden, K. (2007). Cognitive strategies. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology*. Hoboken: Wiley.

Pressley, M., Johnson, C. J., Symons, S., McGoldrick, J. A., & Kurita, J. A. (1989). Strategies that improve children's memory and comprehension of text. *The Elementary School Journal*, *90*(1), 3-32.

Puntambekar, S., Sullivan, S. A., & Hübscher, R. (2013). Analyzing Navigation Patterns to Scaffold Metacognition in Hypertext Systems. In *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies* (pp. 261-275). Springer New York.

Pyc, M. A., & Rawson, K. A. (2012). Why is test–restudy practice beneficial for memory? An evaluation of the mediator shift hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *38*(3), 737. DOI: 10.1037/a0026166.

Pyc, M. A., Rawson, K. A., & Aschenbrenner, A. J. (2014). Metacognitive *monitoring* during criterion learning: When and why are judgments accurate?. *Memory & cognition*, *42*(6), 886-897. DOI: 10.3758/s13421-014-0403-4.

R

Rawson, K. A. (2015). The status of the testing effect for complex materials: still a winner. *Educational Psychology Review*, *27*(2), 327-331. DOI: 10.1007/s10648-015-9308-4.

Rawson, K. A., & Dunlosky, J. (2013). Retrieval-*monitoring*-feedback (RMF) technique for producing efficient and durable student learning. In *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 67-78). Springer New York.

Rawson, K. A., Dunlosky, J., & Sciartelli, S. M. (2013). The power of successive relearning: Improving performance on course exams and long-term retention. *Educational Psychology Review*, *25*(4), 523-548. DOI: 10.1007/s10648-013-9240-4.

Rawson, K. A., & Kintsch, W. (2005). Rereading Effects Depend on Time of Test. *Journal of Educational Psychology*, *97*(1), 70. DOI: 10.1037/0022-0663.97.1.70.

Redford, J. S., Thiede, K. W., Wiley, J., & Griffin, T. D. (2012). Concept mapping improves metacomprehension accuracy among 7th graders. *Learning and Instruction*, *22*(4), 262-270. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2011.10.007.

Richter, J., Scheiter, K., & Eitel, A. (2016). Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. *Educational Research Review*, *17*, 19-36. DOI: 10.1016/j.edurev.2015.12.003.

Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in cognitive sciences*, *15*(1), 20-27. DOI: 10.1016/j.tics.2010.09.003.

Roediger III, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological science*, *17*(3), 249-255. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x.

Roediger, H. L., Putnam, A. L., & Smith, M. A. (2011). Ten benefits of testing and their applications to educational practice. In J. Mestre & B. Ross (Eds.), *Psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol. 55, pp. 1–36). Oxford: Elsevier.

Roelle, J., Hiller, S., Berthold, K., & Rumann, S. (2017). Example-based learning: The benefits of prompting organization before providing examples. *Learning and Instruction*, *49*, 1-12. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2016.11.012.

Roelle, J., Schmidt, E. M., Buchau, A., & Berthold, K. (2017). Effects of informing learners about the dangers of making overconfident judgments of learning. *Journal of Educational Psychology*, *109*(1), 99. DOI: 10.1037/edu0000132.

Ross, S. M., & Di Vesta, F. J. (1976). Oral summary as a review strategy for enhancing recall of textual material. *Journal of Educational Psychology*, *68*(6), 689. DOI: 10.1037/0022-0663.68.6.689.

Rouet, J. F., & Britt, M. A. (2011). Relevance processes in multiple document comprehension. In M. T. McCrudden, J. P. Magliano, & G. Schraw (Eds.), *Text relevance and learning from text*. Greenwich, CT: Information Age.

Rouet, J. F., Britt, M. A., & Durik, A. M. (2017). RESOLV: Readers' Representation of Reading Contexts and Tasks. *Educational Psychologist*, 1-16. Advance online publication. DOI: 10.1080/00461520.2017.1329015.

Rouet, J. F., & Passerault, J. M. (1999). Analyzing learner-hypermedia interaction: An overview of online methods. *Instructional Science*, *27*(3), 201-219. DOI: 10.1023/a:100316271.

Rouet, J.F., & Vidal-Abarca, E. (2002). "Mining for meaning": A cognitive examination of inserted questions in learning from scientific text. In J. Otero, J.A. Leon, & A.C. Graesser (Eds) The Psychology of Science Text Comprehension. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rouet, J. F., Vidal-Abarca, E., Erboul, A. B., & Millogo, V. (2001). Effects of information search tasks on the comprehension of instructional text. *discourse processes*, *31*(2), 163-186. DOI: 10.1207/s15326950dp3102_03.

Rowland, C. A. (2014). The effect of testing versus restudy on retention: A meta-analytic review of the testing effect. *Psychological Bulletin*, 140(6), 1432–1463. DOI: 10.1037/a0037559.

S

Samuelstuen, M. S., & Bråten, I. (2005). Decoding, knowledge, and strategies in comprehension of expository text. *Scandinavian Journal of Psychology*, *46*(2), 107-117. DOI: 10.1111/j.1467-9450.2005.00441.x.

Sánchez, E., & García-Rodicio, H. (2013). Using online measures to determine how learners process instructional explanations. *Learning and Instruction*, *26*, 1-11. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2012.12.003.

Sanchez, R. P., Lorch, E. P., & Lorch, R. F. (2001). Effects of headings on text processing strategies. *Contemporary educational psychology*, *26*(3), 418-428. DOI: 10.1006/ceps.2000.1056.

Savolainen, H., Ahonen, T., Aro, M., Tolvanen, A., & Holopainen, L. (2008). Reading comprehension, word reading and spelling as predictors of school achievement and choice of secondary education. *Learning and Instruction*, *18*(2), 201-210. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2007.09.017.

Scheiter, K., Schubert, C., Gerjets, P., & Stalbovs, K. (2015). Does a Strategy Training Foster Students' Ability to Learn From Multimedia?. *The Journal of Experimental Education*, *83*(2), 266-289. DOI: 10.1080/00220973.2013.876603.

Schellings, G., Aarnoutse, C., & Van Leeuwe, J. (2006). Third-grader's think-aloud protocols: Types of reading activities in reading an expository text. *Learning and Instruction*, *16*(6), 549-568. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2006.10.004.

Schleinschok, K., Eitel, A., & Scheiter, K. (2017). Do drawing tasks improve *monitoring* and control during learning from text?. *Learning and Instruction*. Advance online publication. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.02.002.

Schnaubert, L., & Bodemer, D. (2017). Prompting and visualising *monitoring* outcomes: Guiding self-regulatory processes with confidence judgments. *Learning and Instruction*, *49*, 251-262. Advance online publication. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.03.004.

Schnotz, W. (1993). On the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. *Learning and Instruction*, *3*(3), 247-249. DOI: 10.1016/0959-4752(93)90008-N.

Schnotz, W. (2002). Commentary: Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational psychology review*, *14*(1), 101-120. DOI: 10.1023/A:1013136727916.

Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49e69). Cambridge: Cambridge University Press.

Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, *13*(2), 141-156. DOI: 10.1016/S0959-4752(02)00017-8.

Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional science*, *26*(1), 113-125. DOI: 10.1023/A:1003044231033.

Schraw, G. (2009). Measuring metacognitive judgements. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 415–429). New York, NY: Routledge.

Schraw, G. (2010). Measuring self-regulation in computer-based learning environments. *Educational Psychologist*, *45*(4), 258-266. DOI: 10.1080/00461520.2010.515936.

Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary educational psychology*, *19*(4), 460-475. DOI: 10.1006/ceps.1994.1033

Schraw, G., Kuch, F., & Gutierrez, A. P. (2013). Measure for measure: Calibrating ten commonly used calibration scores. *Learning and Instruction*, *24*, 48-57. DOI: 1 0.1016/j.learninstruc.2012.08.007.

Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational psychology review*, *7*(4), 351-371. DOI: 10.1007/BF02212307.

Schraw, G., & Gutierrez, A. P. (2015). Metacognitive strategy instruction that highlights the role of *monitoring* and control processes. In *Metacognition: Fundaments, applications, and trends* (pp. 3-16). Springer International Publishing.

Schroeder, N. L., Nesbit, J. C., Anguiano, C. J., & Adesope, O. O. (2017). Studying and Constructing Concept Maps: a Meta-Analysis. *Educational Psychology Review, 49,* 1-25. DOI: 10.1007/s10648-017-9403-9.

Schunk, D. H. (2011). Learning theories: An Educational Perspective *(6th ed.)*.. *Printice Hall Inc., New Jersey*.

Schwartz, B. L., Boduroglu, A., & Tekcan, A. İ. (2016). Methodological concerns: the feeling-of-knowing task affects resolution. *Metacognition and Learning*, *11*(3), 305-316. DOI: 10.1007/s11409-015-9152-4.

Schwartz, N. H., Scott, B. M., & Holzberger, D. (2013). Metacognition: A closed-loop model of biased competition–evidence from neuroscience, cognition, and instructional research. In *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 79-94). Springer New York.

Serra, M. J., & Dunlosky, J. (2005). Does retrieval fluency contribute to the underconfidence-with-practice effect?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *31*(6), 1258. DOI: 10.1037/0278-7393.31.6.1258.

Serra, M. J., & Dunlosky, J. (2010). Metacomprehension judgements reflect the belief that diagrams improve learning from text. *Memory*, *18*(7), 698-711. DOI: 10.1080/09658211.2010.506441.

Shaughnessy, J. J., & Zechmeister, E. B. (1992). Memory-*monitoring* accuracy as influenced by the distribution of retrieval practice. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *30*(2), 125-128. DOI: 10.3758/bf03330416.

Shuell, T. J. (1986). Cognitive conceptions of learning. *Review of educational research*, *56*(4), 411-436. DOI: 10.3102/00346543056004411.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of educational research*, *78*(1), 153-189. DOI: 10.1002/j.2333-8504.2007.tb02053.x.

Sitzmann, T., & Ely, K. (2010). Sometimes you need a reminder: the effects of prompting self-regulation on regulatory processes, learning, and attrition. *Journal of Applied Psychology*, *95*(1), 132. DOI: 10.1037/a0018080.

Soderstrom, N. C., & Bjork, R. A. (2014). Testing facilitates the regulation of subsequent study time. *Journal of Memory and Language*, 73, 99–115. DOI: 10.1016/j.jml.2014.03.003.

Soderstrom, N. C., Clark, C. T., Halamish, V., & Bjork, E. L. (2015). Judgments of learning as memory modifiers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(2), 553. DOI: 10.1037/a0038388.

Son, L. K., & Metcalfe, J. (2000). Metacognitive and control strategies in study-time allocation. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, *26*(1), 204-221. DOI: 10.1037//0278-7393,26.1.204.

Souchay, C. (2013). Métamémoire et troubles de la mémoire : l'exemple du feeling-of knowing. *Review de Neuropsychologie*, *6*, 265–272. DOI: 10.1684/nrp.2013.0282.

Stalbovs, K., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2015). Implementation intentions during multimedia learning: using if-then plans to facilitate cognitive processing. *Learning and Instruction*, *35*, 1-15. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2014.09.002.

Storm, B. C., Hickman, M. L., & Bjork, E. L. (2016). Improving encoding strategies as a function of test knowledge and experience. *Memory & cognition*, *44*(4), 660-670. DOI: 10.3758/s13421-016-0588-9.

Strømsø, H. I., Bråten, I., & Samuelstuen, M. S. (2003). Students' strategic use of multiple sources during expository text reading: A longitudinal think-aloud study. *Cognition and Instruction*, *21*(2), 113-147. DOI: 10.1207/S1532690XCI2102_01.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Berlin: Springer

Sweller, J., Van Merrienboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, *10*(3), 251-296. DOI: 10.1023/A:1022193728205.

Szpunar, K. K., Khan, N. Y., & Schacter, D. L. (2013). Interpolated memory tests reduce mind wandering and improve learning of online lectures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110,* 6313– 6317. 10.1073/pnas.1221764110.

Szpunar, K. K., McDermott, K. B., & Roediger, H. L. (2008). Testing during study insulates against the buildup of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(6), 1392–1399. DOI: 10.1037/a0013082.

T

Tarchi, C. (2017). Comprehending expository texts: the role of cognitive and motivational factors. *Reading Psychology*, *38*(2), 154-181. DOI: 10.1080/02702711.2016.1245229.

Tarricone, P. (2011). *The taxonomy of metacognition*. Psychology Press.

Taub, M., Azevedo, R., Bouchet, F., & Khosravifar, B. (2014). Can the use of cognitive and metacognitive self-regulated learning strategies be predicted by learners' levels of prior

knowledge in hypermedia-learning environments?. *Computers in Human Behavior*, *39*, 356-367. DOI: 10.1016/j.chb.2014.07.018.

The brain from top to bottom. Retrieved from www.thebrain.mcgill.ca/ on 15 July 2014.

Thiede, K. W. (1999). The importance of *monitoring* and self-regulation during multitrial learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *6*(4), 662-667. DOI: 10.3758/BF03212976.

Thiede, K. W., & Anderson, M. C. (2003). Summarizing can improve metacomprehension accuracy. *Contemporary Educational Psychology*, *28*(2), 129-160. DOI: 10.1016/S0361-476X(02)00011-5.

Thiede, K. W., Anderson, M. C. M., & Therriault, D. (2003). Accuracy of metacognitive *monitoring* affects learning of texts. *Journal of Educational Psychology*, *95*(1), 66–73. DOI: 10.1037/0022-0663.95.1.66.

Thiede, K. W., & Dunlosky, J. (1999). Toward a general model of self-regulated study: An analysis of selection of items for study and self-paced study time. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(4), 1024.

Thiede, K. W., Dunlosky, J., Griffin, T. D., & Wiley, J. (2005). Understanding the delayed-keyword effect on metacomprehension accuracy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *31*(6), 1267. DOI: 10.1037/0278-7393.31.6.1267.

Thiede, K. W., Griffin, T. D., Wiley, J., & Anderson, M. C. (2010). Poor metacomprehension accuracy as a result of inappropriate cue use. *Discourse Processes*, *47*(4), 331-362. DOI: 10.1080/01638530902959927.

Thiede, K. W., Griffin, T. D., Wiley, J., & Redford, J. S. (2009). Metacognitive *monitoring* during and after reading. In D.J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education*, 319-339. New York: Routledge.

Thiede, K. W., Redford, J. S., Wiley, J., & Griffin, T. D. (2017). How restudy decisions affect overall comprehension for seventh-grade students. *British Journal of Educational Psychology*. DOI:10.1111/bjep.12166.

Thiede, K. W., Wiley, J., & Griffin, T. D. (2011). Test expectancy affects metacomprehension accuracy. *British Journal of Educational Psychology*, *81*(2), 264-273. DOI: 10.1348/135910710X510494.

Thorndike, E. L. (1917). Reading as reasoning: A study of mistakes in paragraph reading. *Journal of Educational psychology*, *8*(6), 323.

Tobias, S., & Everson, H. (2009). The Importance of Knowing What You Know: A Knowledge Monitoring Framework for Studying Metacognition. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 120–140). New York, NY: Routledge.

Tock, J. L., & Moxley, J. H. (2017). A comprehensive reanalysis of the metacognitive self-regulation scale from the MSLQ. *Metacognition and Learning*, *12*(1), 79-111. DOI 10.1007/s11409-016-9161-y ;

Trevors, G. J., Kendeou, P., & Butterfuss, R. (2017). Emotion Processes in Knowledge Revision. *Discourse Processes*, 1-21. DOI: 10.1080/0163853X.2017.1312201.

Trevors, G. J., Muis, K. R., Pekrun, R., Sinatra, G. M., & Muijselaar, M. M. (2017). Exploring the relations between epistemic beliefs, emotions, and learning from texts. *Contemporary Educational Psychology*, *48*, 116-132. 10.1016/j.cedpsych.2016.10.001.

Tulving, E., & Madigan, S. A. (1970). Memory and verbal learning. *Annual review of psychology*, *21*(1), 437-484. DOI: 10.1146/annurev.ps.21.020170.002253.

V

Van Dijk, T. A., Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1983). *Strategies of discourse comprehension* (pp. 11-12). New York: Academic Press.

Van Gog, T., & Sweller, J. (2015). Not new, but nearly forgotten: the testing effect decreases or even disappears as the complexity of learning materials increases. *Educational Psychology Review*, *27*(2), 247-264. DOI: 10.1007/s10648-015-9310-x.

Veenman, M. V. J. (2007). The assessment and instruction of self-regulation in computer-based environments: a discussion. *Metacognition and Learning*, 2, 177–183. DOI: 10.1007/s11409-007-9017-6.

Veenman, M. V. (2011a). Alternative assessment of strategy use with self-report instruments: a discussion. *Metacognition and Learning*, *6*(2), 205-211. DOI: 10.1007/s11409-011-9080-x.

Veenman, M. V. (2011b). Learning to self-monitor and self-regulate. *Handbook of research on learning and instruction*, 197-218.

Veenman, M. V. (2013). Assessing metacognitive skills in computerized learning environments. In *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 157-168). Springer New York.

Verhoeven, L., & Perfetti, C. (2008). Advances in text comprehension: Model, process and development. *Applied Cognitive Psychology*, *22*(3), 293-301. DOI: 10.1002/acp.1417.

Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). Metacognition, achievement goals, study strategies and academic achievement: pathways to achievement. *Metacognition and Learning*, *3*(2), 123-146. DOI: 10.1007/s11409-008-9022-4.

W

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(3), 435. DOI: 10.1037/0022-0663.81.3.435.

Walczyk, J. J., Marsiglia, C. S., Bryan, K. S., & Naquin, P. J. (2001). Overcoming inefficient reading skills. *Journal of Educational Psychology*, *93*(4), 750. DOI: 10.1O37//O022-O663.93.4.750

Weinstein, C. E., & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 315–327). New York: Macmillan.

Weinstein, C. E., Schulte, A., & Palmer, D. R. (1987). *The Learning and Study Strategies Inventory.* Clearwater, FL: H & H Publishing.

Williams, J. P., & Atkins, J. (2009). The role of metacognition in teaching reading comprehension to primary students. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 26–43). New York, NY: Routledge.

Winne, P. H. (2010). Improving measurements of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, *45*(4), 267-276. DOI: 10.1080/00461520.2010.517150.

Winne, P. H. (2011). A cognitive and metacognitive analysis of selfregulated learning. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance*. New York, NY: Routledge.

Winne, P. H., & Azevedo, R. (2014). Metacognition. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd ed., pp. 63–87). Cambridge, England: Cambridge University Press.

Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. Grasser (Eds.), Metacognition in educational theory and practice (pp. 277–304). Hillsdale: Erlbaum.

Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (2008). The weave of motivation and self-regulated learning. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), Motivation and self-regulated learning: theory, research, and application (pp. 297–314). New York: Routledge.

Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (2013). nStudy: tracing and supporting self-regulated learning in the internet. In R. Azevedo & V. Aleven (Eds.), International handbook of metacognition and learning technologies (pp. 293–308). New York: Springer.

Winne, P. H., & Jamieson-Noel, D. (2002). Exploring students' calibration of self reports about study tactics and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, *27*(4), 551-572. DOI: 10.1016/S0361-476X(02)00006-1.

Winne, P. H., & Nesbit, J. C. (2009). Supporting self-regulated learning with cognitive tools. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 259–277). New York, NY: Routledge.

Winne, P., & Perry, N. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), Handbook of selfregulation (pp. 532–566). San Diego, CA: Academic Press.

Wissman, K. T., Rawson, K. A., & Pyc, M. A. (2011). The interim test effect: testing prior material can facilitate the learning of new material. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(6), 1140–1147. DOI: 10.3758/s13423-011-0140-7.

Wittrock, M. C. (1974/2010). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, *45*(1), 40-45. DOI: 10.1080/00461520903433554.

Wittrock, M. C. (1978) The cognitive movement in instruction. *Educational Psychologist*, 13:1, 15-29, DOI: 10.1080/00461527809529192

Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational psychologist*, *24*(4), 345-376. DOI: 10.1207/s15326985ep2404_2.

Y

Yang, C., Potts, R., & Shanks, D. R. (2017a). Metacognitive Unawareness of the Errorful Generation Benefit and Its Effects on Self-Regulated Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition.* DOI: 10.1037/xlm0000363.

Yang, C., Potts, R., & Shanks, D. R. (2017b). The Forward Testing Effect on Self-Regulated Study Time Allocation and Metamemory *Monitoring*. *Journal of experimental psychology. Applied*. DOI: 10.1037/xap0000122.

Yue, C. L., Soderstrom, N. C., & Bjork, E. L. (2015). Partial testing can potentiate learning of tested and untested material from multimedia lessons. *Journal of Educational Psychology*, *107*(4), 991. DOI: 10.1037/edu0000031.

Z

Zimmerman, B. J. (2000). Attainment of self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation, research, and applications* (pp. 13–39). Orlando, FL: Academic Press.

Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments, and future prospects. *American educational research journal*, *45*(1), 166-183. DOI: 10.3102/0002831207312909.

ANNEXES

Jonathan Fernandez - Favoriser un apprentissage actif : effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Table des annexes

ANNEXE 1 : Module d'entraînement 235

ANNEXE 2 : L'environnement numérique d'apprentissage 238

ANNEXE 3 : 48 questions sélectionnées pour l'élaboration des quiz 251

ANNEXE 4 : 48 questions sélectionnées pour l'élaboration du questionnaire de mémorisation 261

ANNEXE 5 : Questionnaire de connaissances antérieures 269

ANNEXE 6 : Questions de transfert 270

ANNEXE 7 : Grille de codage 272

ANNEXE 1 : Module d'entraînement



Fig. A. 1. Diapositive de présentation du module d'entraînement

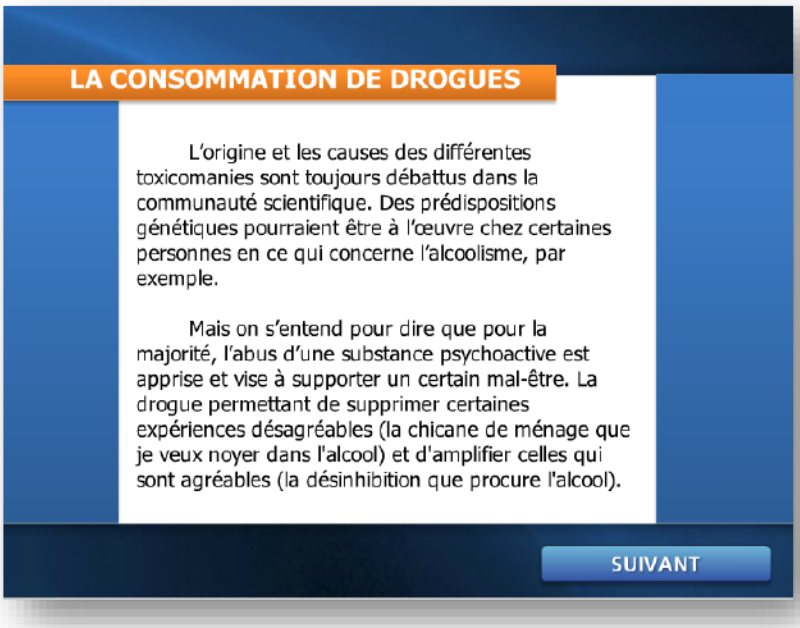


Fig. A. 2. Première diapositive d'introduction du modèle d'entraînement

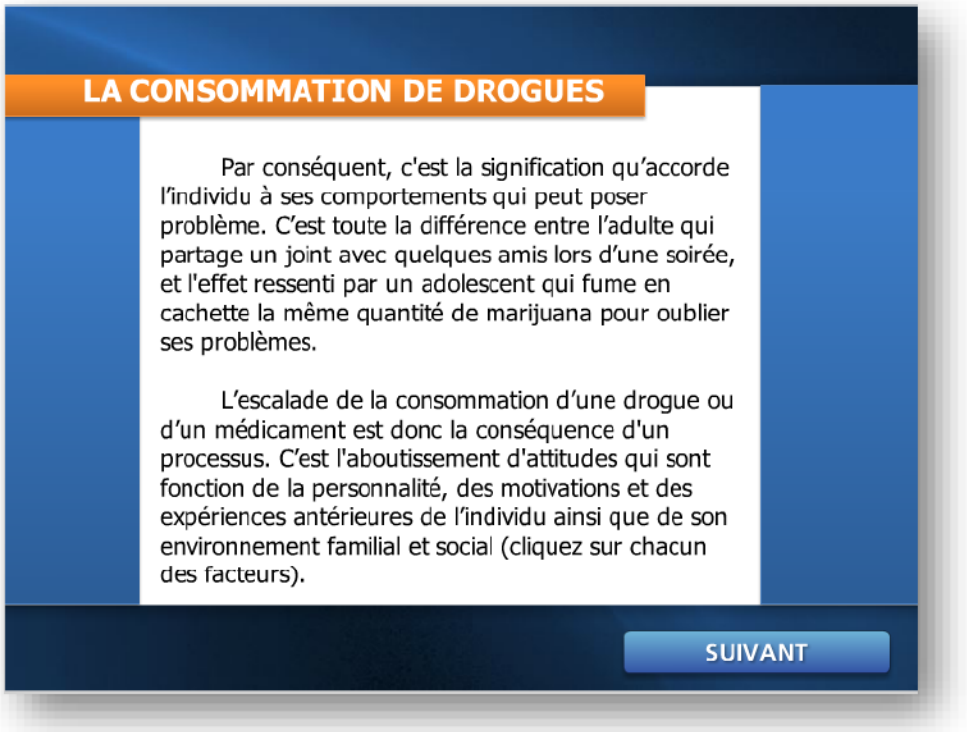


Fig. A. 3. Deuxième diapositive d'introduction du modèle d'entraînement

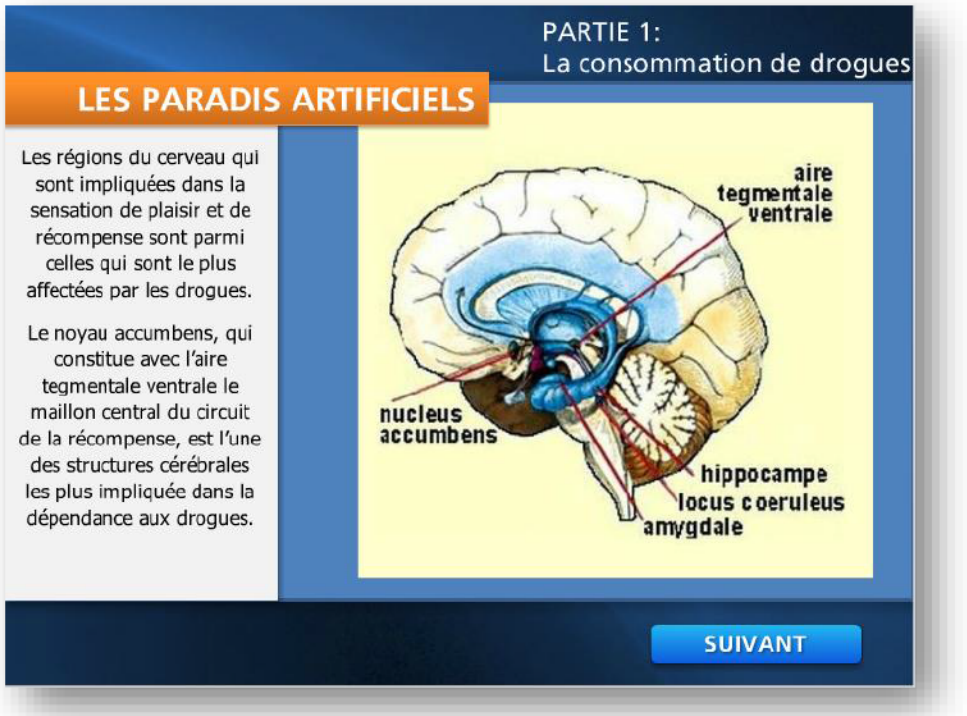


Fig. A. 4. Partie 1 du modèle d'entraînement

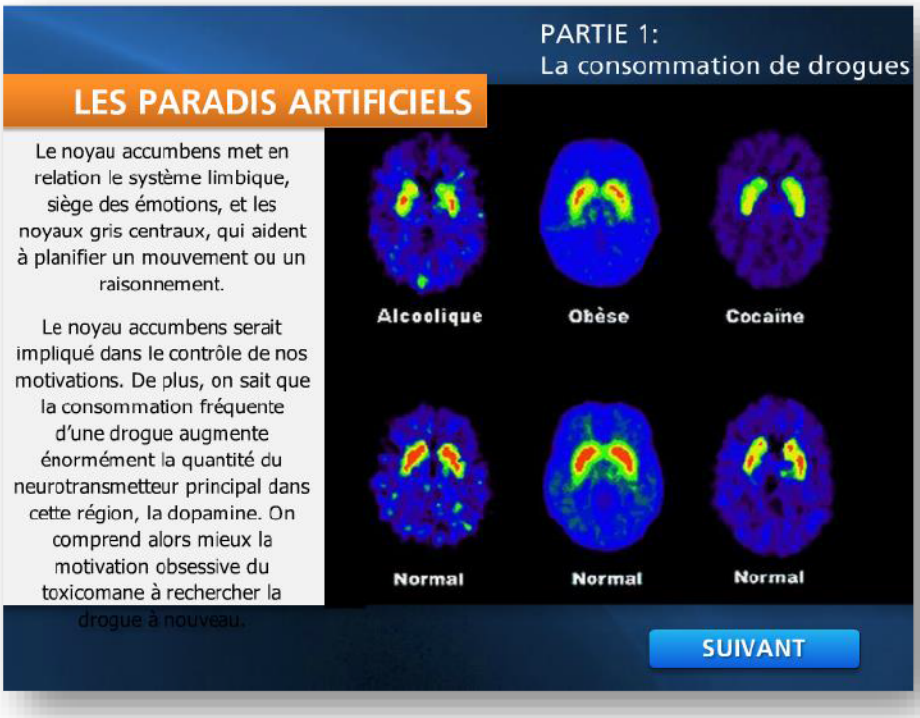


Fig. A. 5. Partie deux du module d'entraînement



Fig. A. 6. Diapositive de clôture du module d'entraînement

ANNEXE 2 : L'environnement numérique d'apprentissage



Fig. A. 7. Diapositive d'introduction de la partie 1 de l'ENA

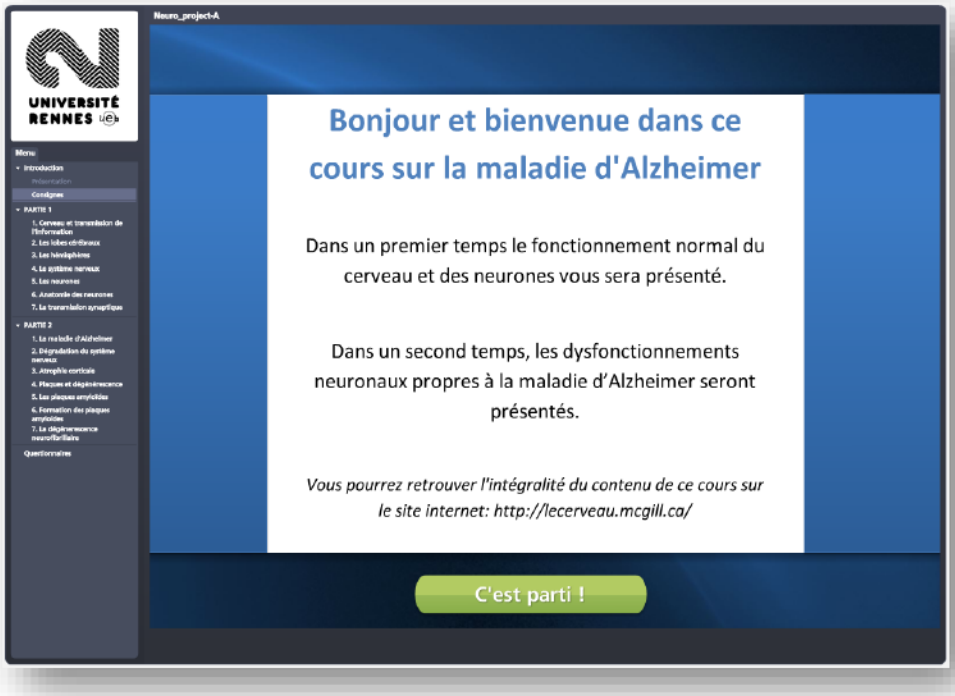


Fig. A. 8. Diapositive 2 d'introduction à l'ENA



Fig. A. 9. Diapositive d'introduction de la partie 1 de l'ENA

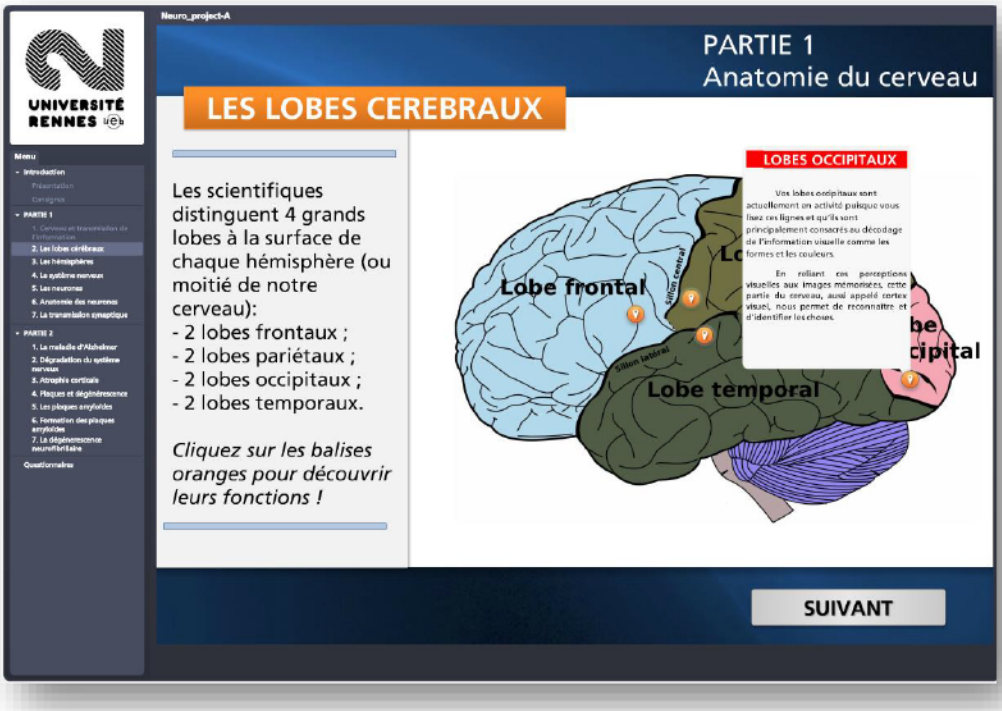


Fig. A. 10. Chapitre 1 de l'ENA

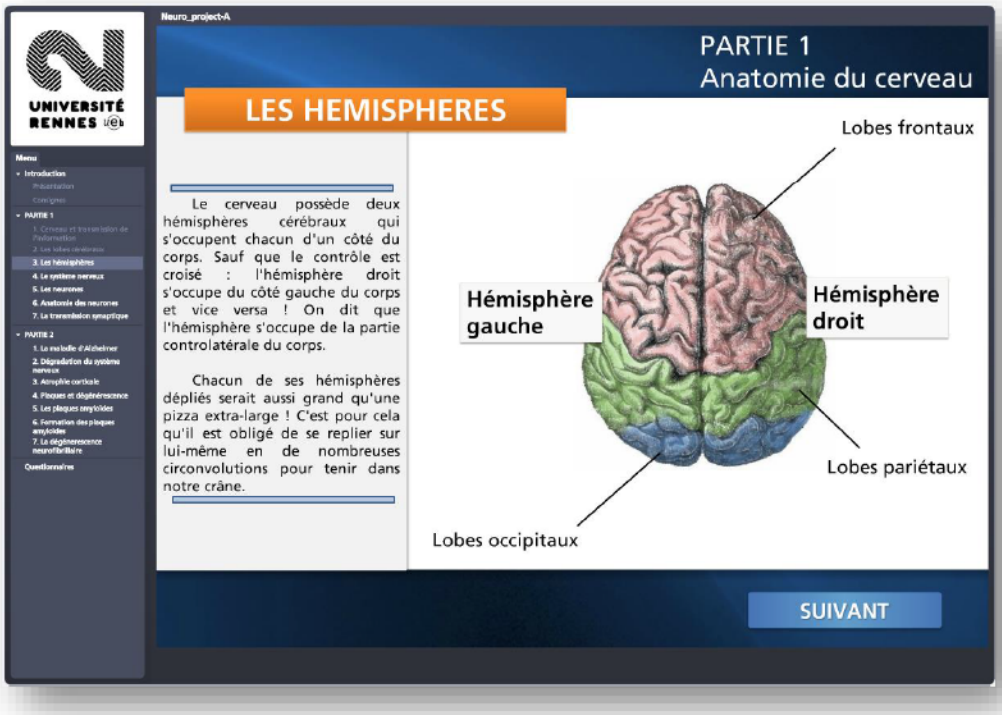


Fig. A. 11. Chapitre 2 de l'ENA - extrait 1/4

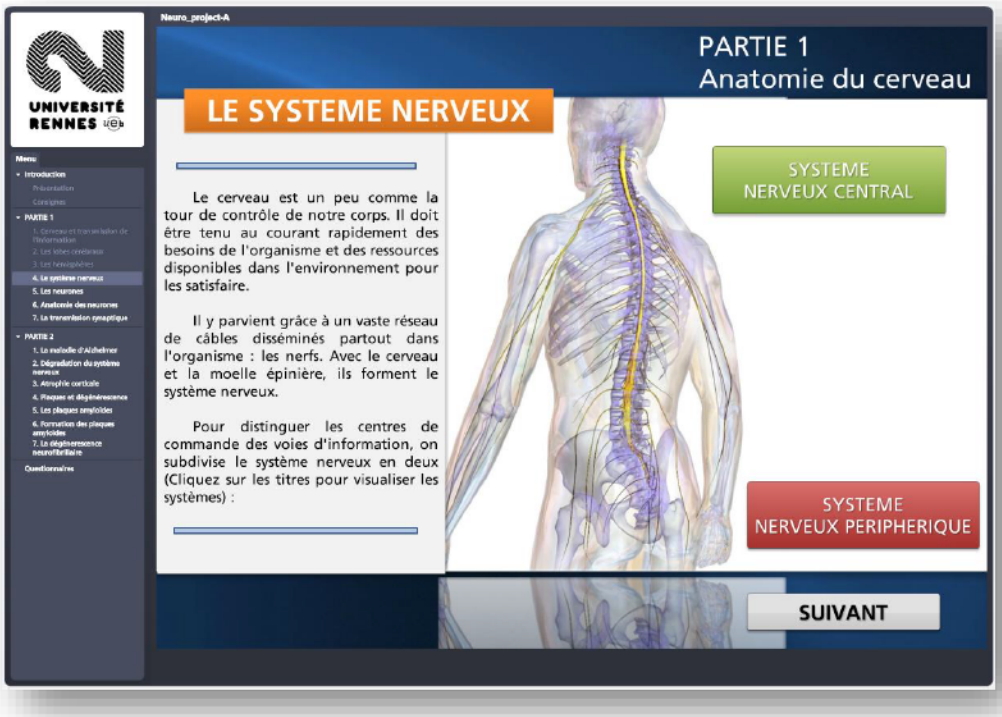


Fig. A. 12. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 2/4

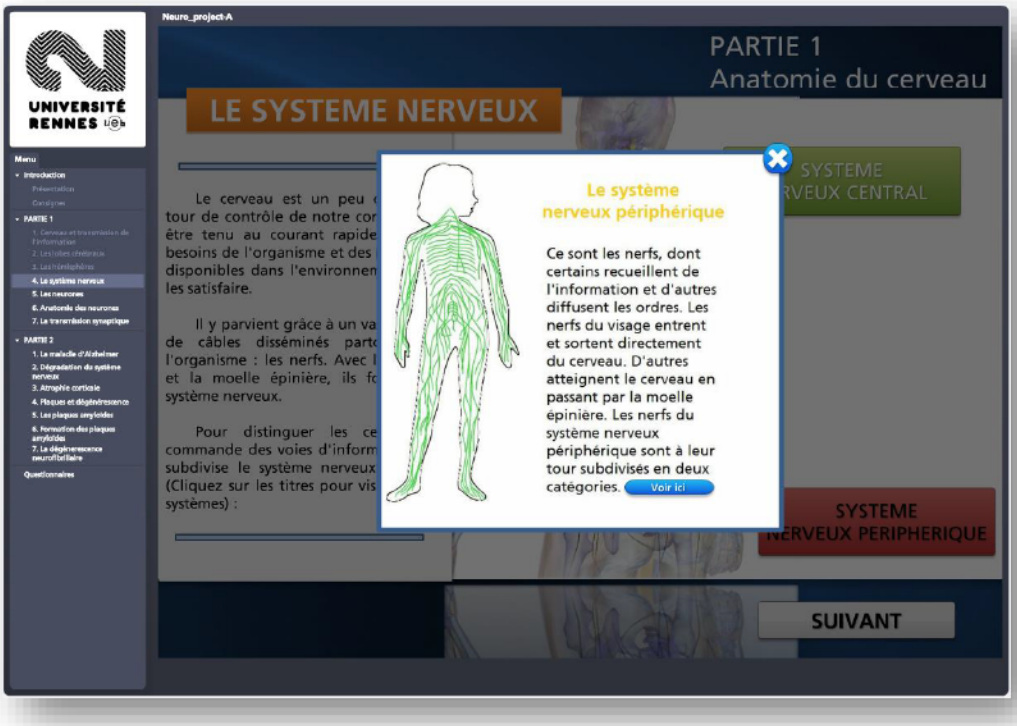


Fig. A. 13. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 3/4

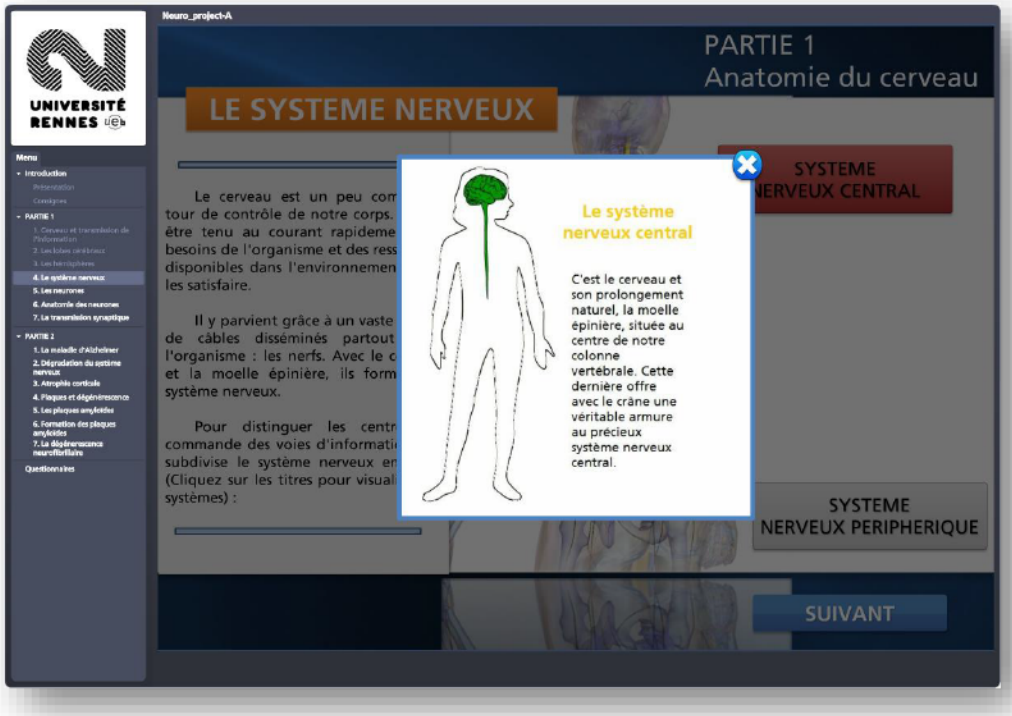


Fig. A. 14. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 4/4

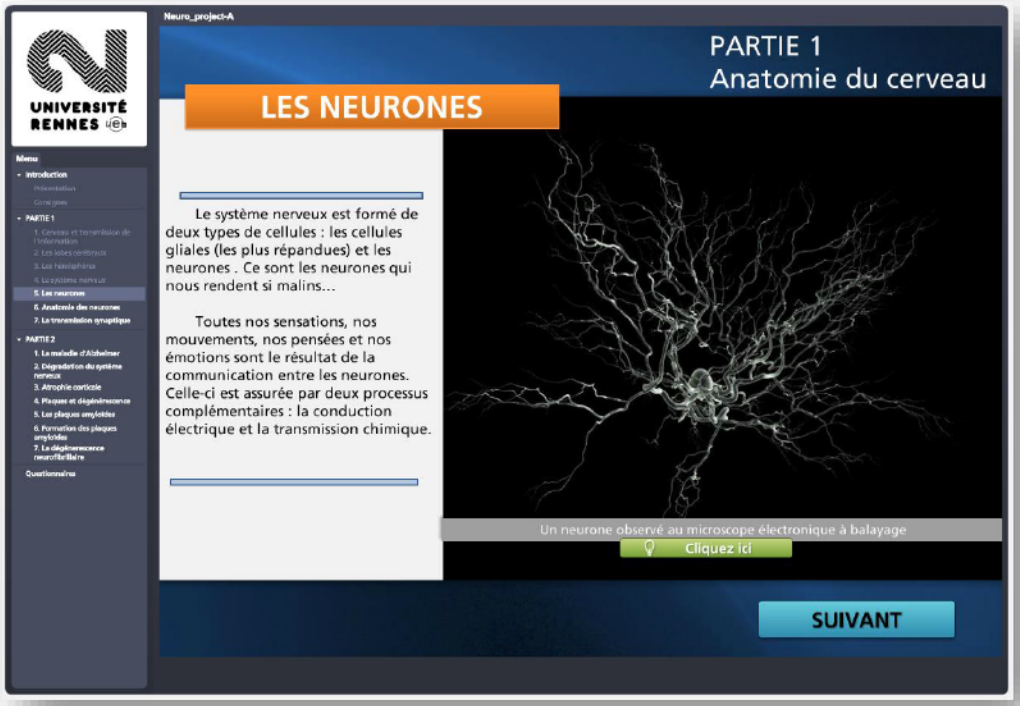


Fig. A. 15. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 1/4

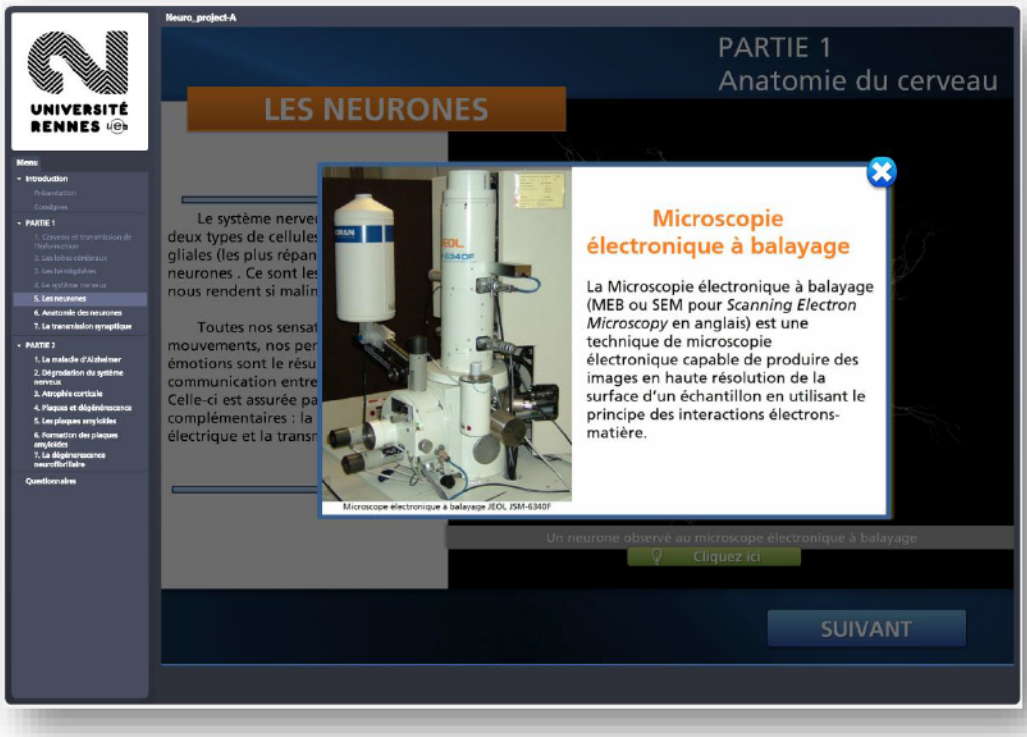


Fig. A. 16. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 2/4

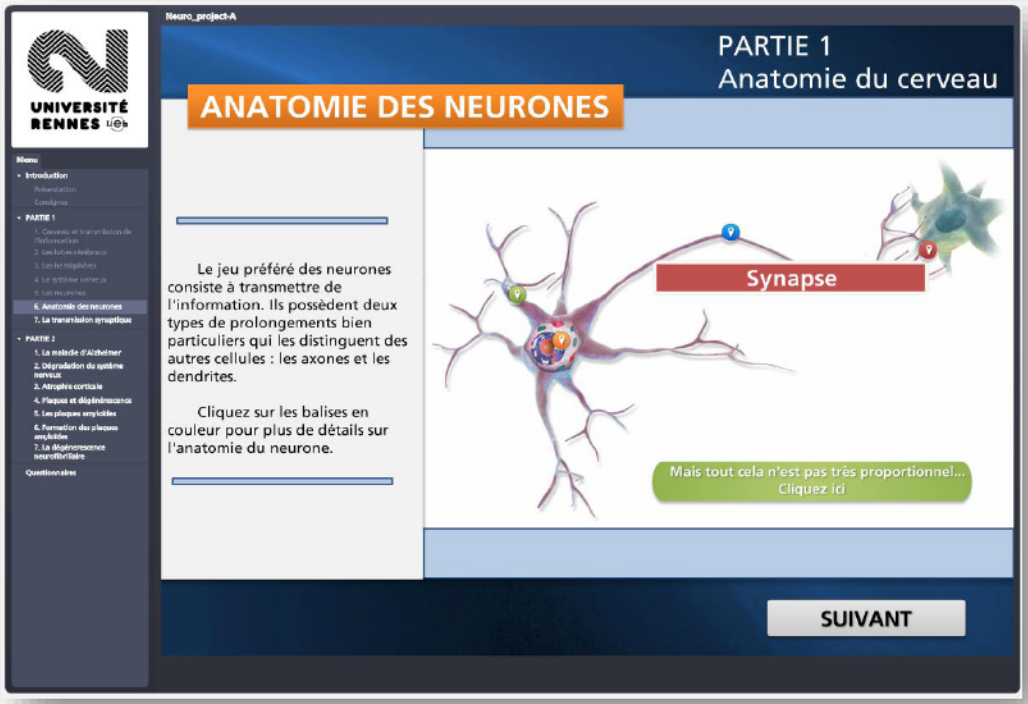


Fig. A. 17. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 3/4

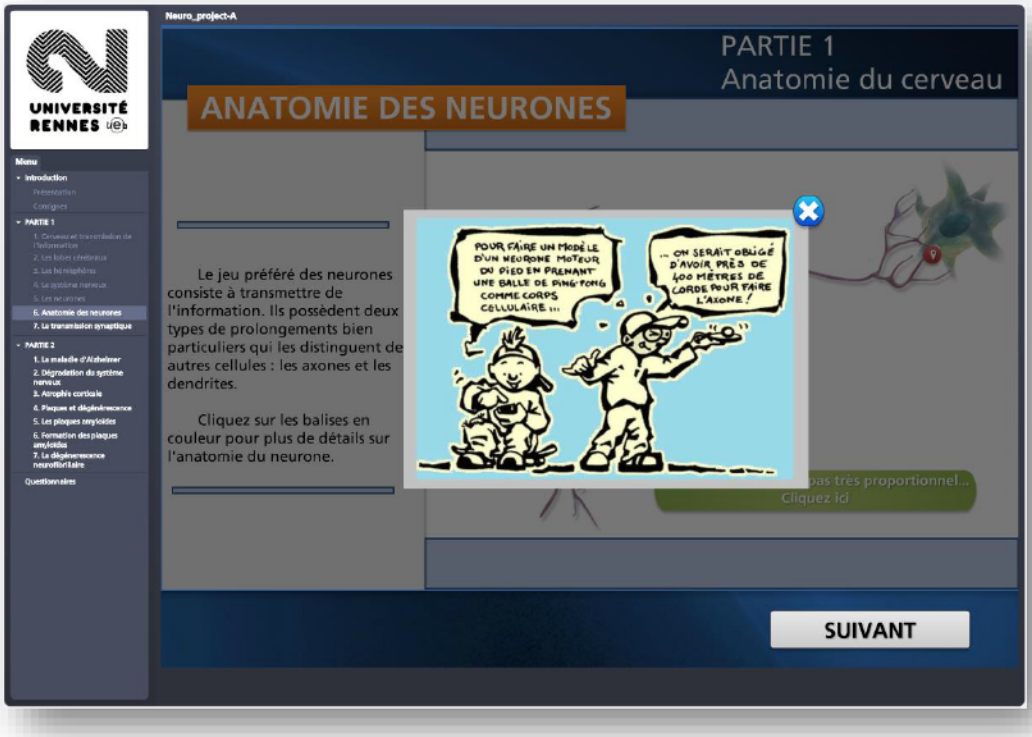


Fig. A. 18. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 4/4

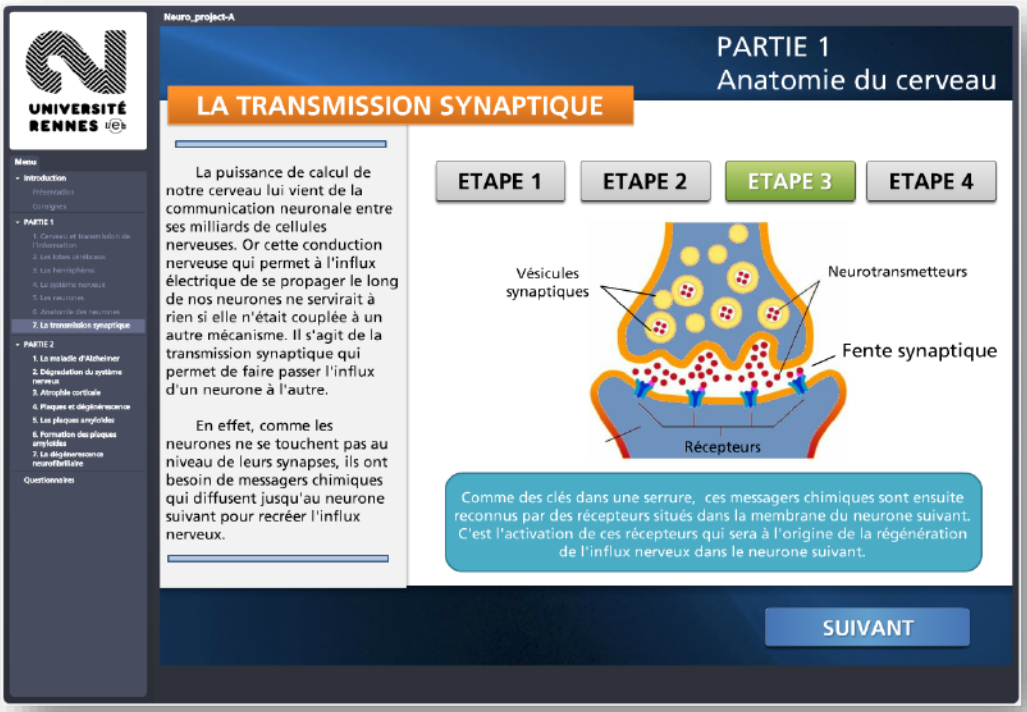


Fig. A. 19. Chapitre 4 de l'ENA

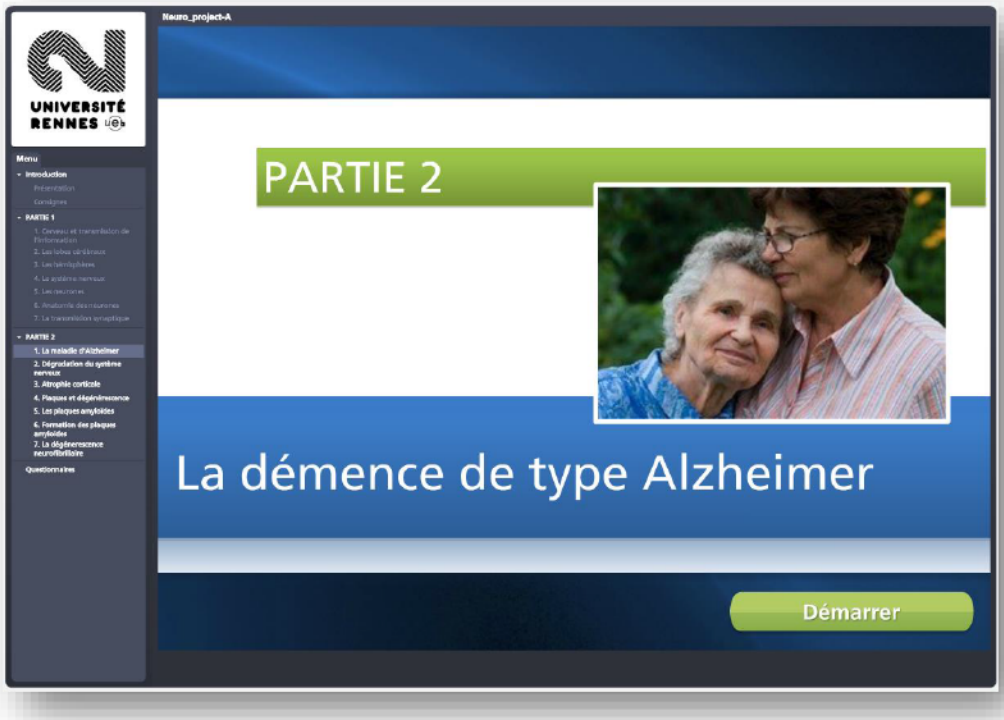


Fig. A. 20. Diapositive d'introduction de la partie 2

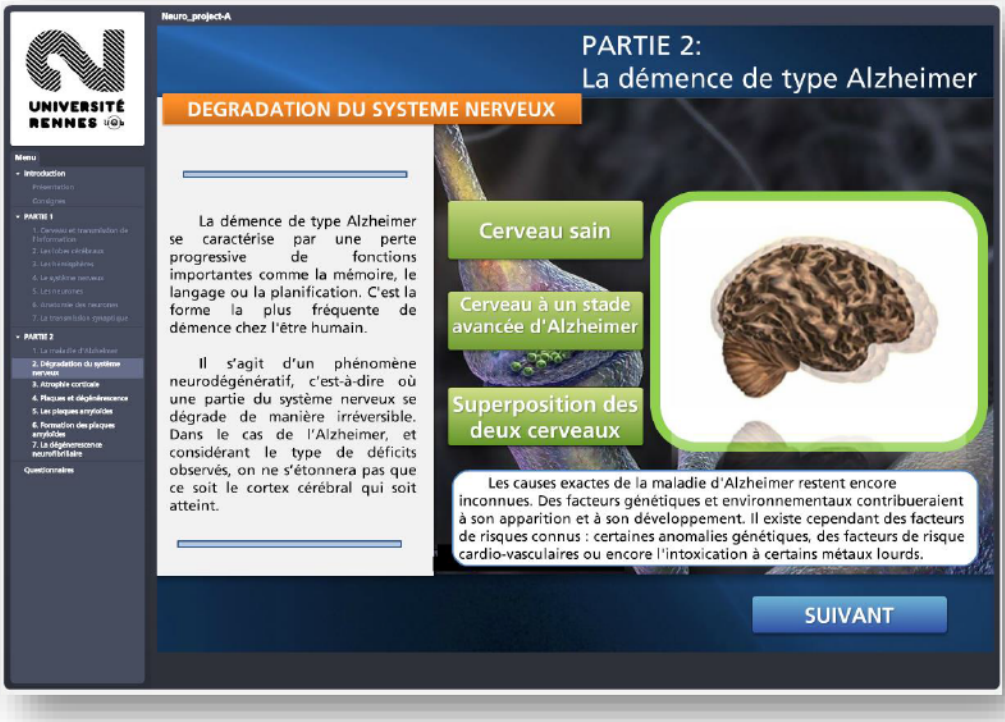


Fig. A. 21. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 1/3

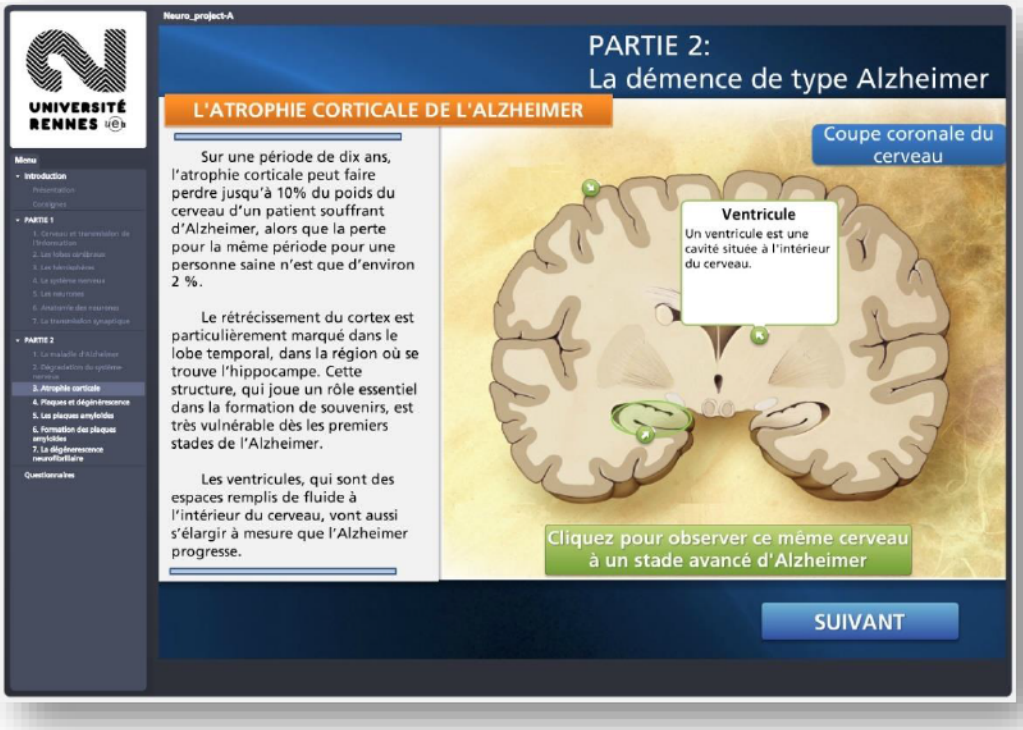


Fig. A. 22. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 2/3

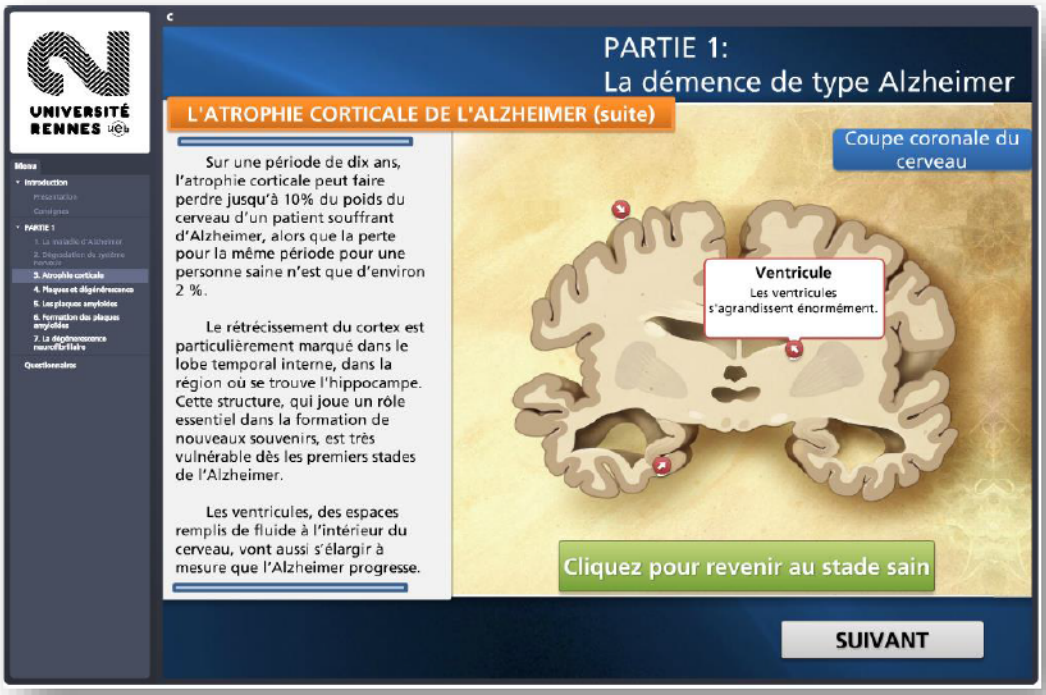


Fig. A. 23. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 3/3

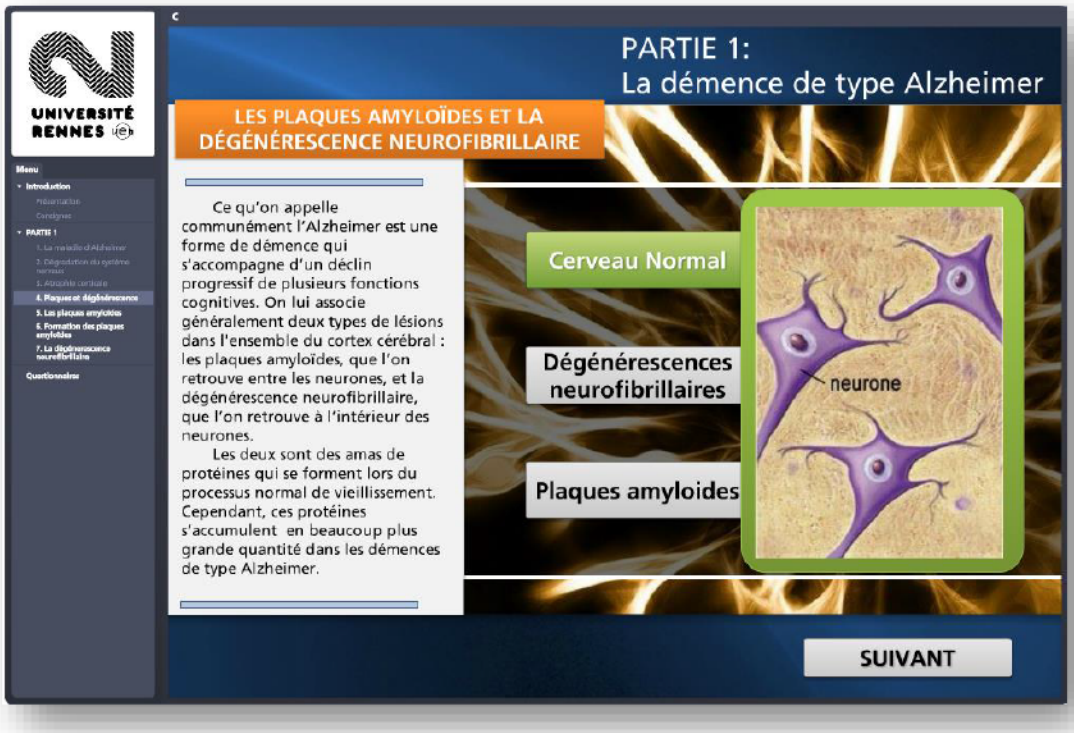


Fig. A. 24. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 1/3

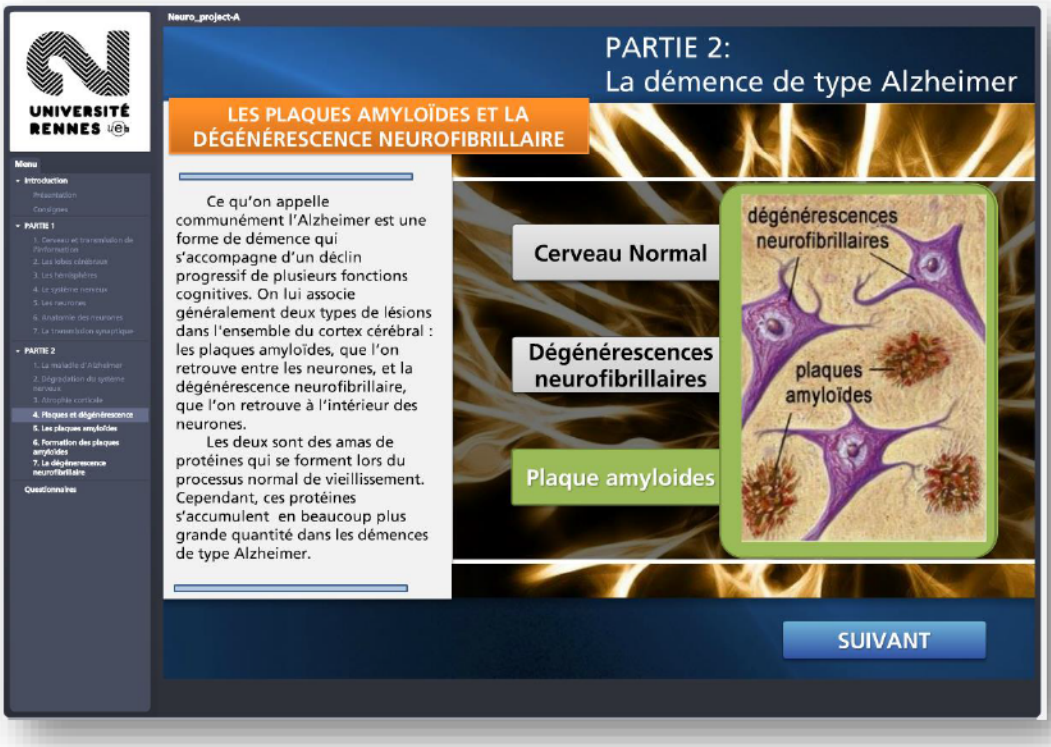


Fig. A. 25. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 2/3

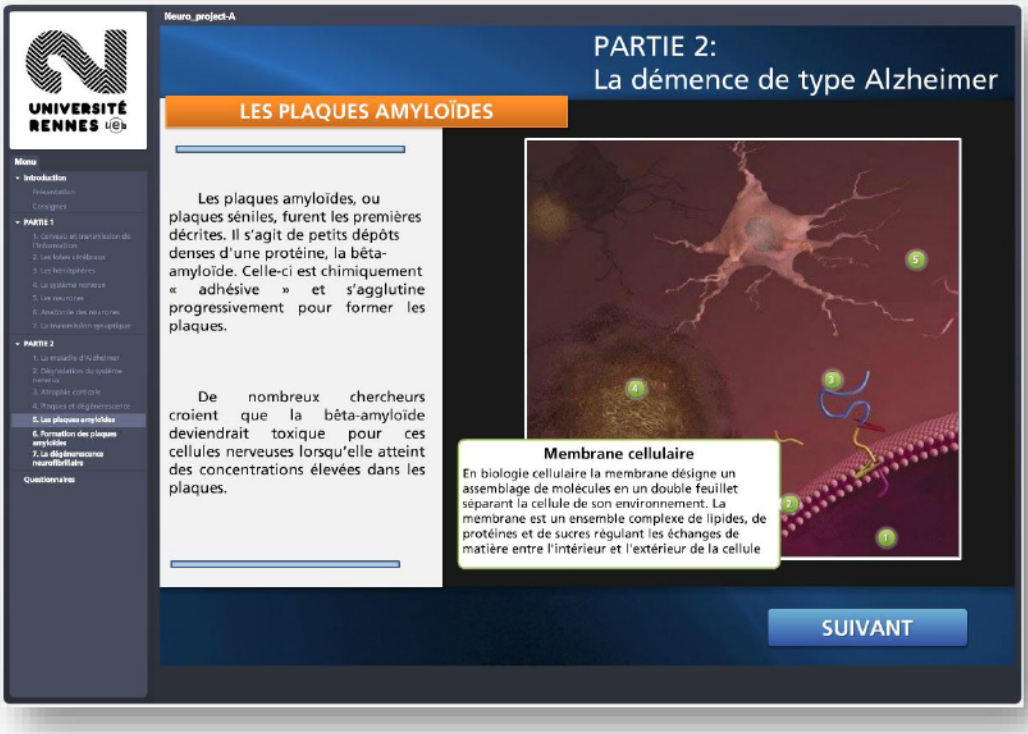


Fig. A. 26. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 3/3

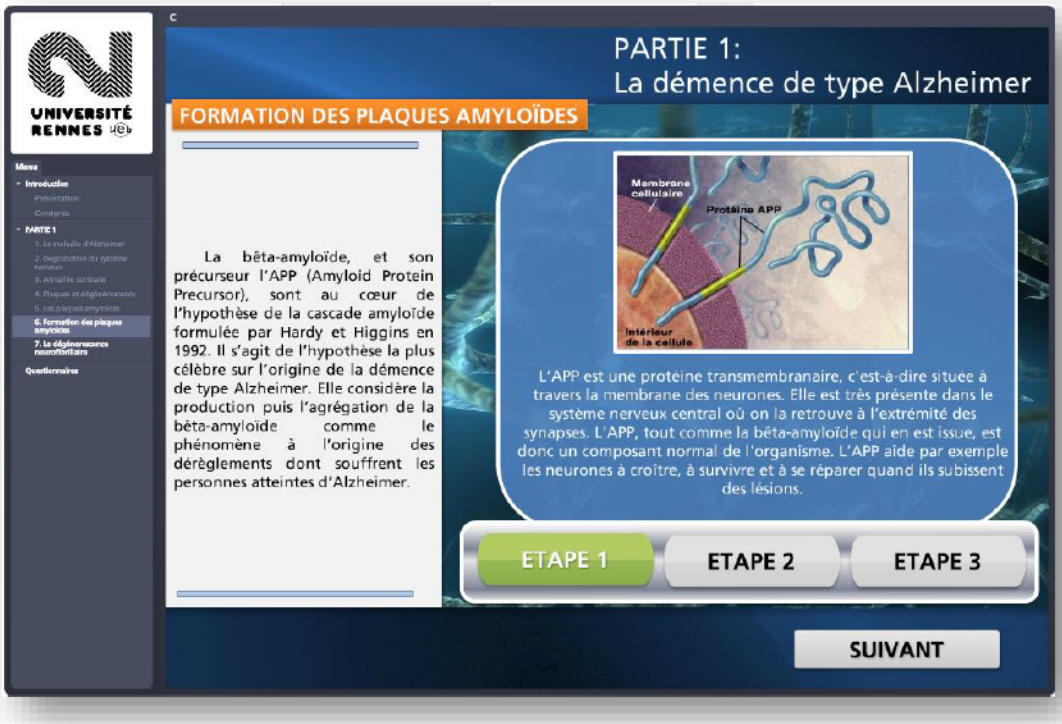


Fig. A. 27. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 1/3

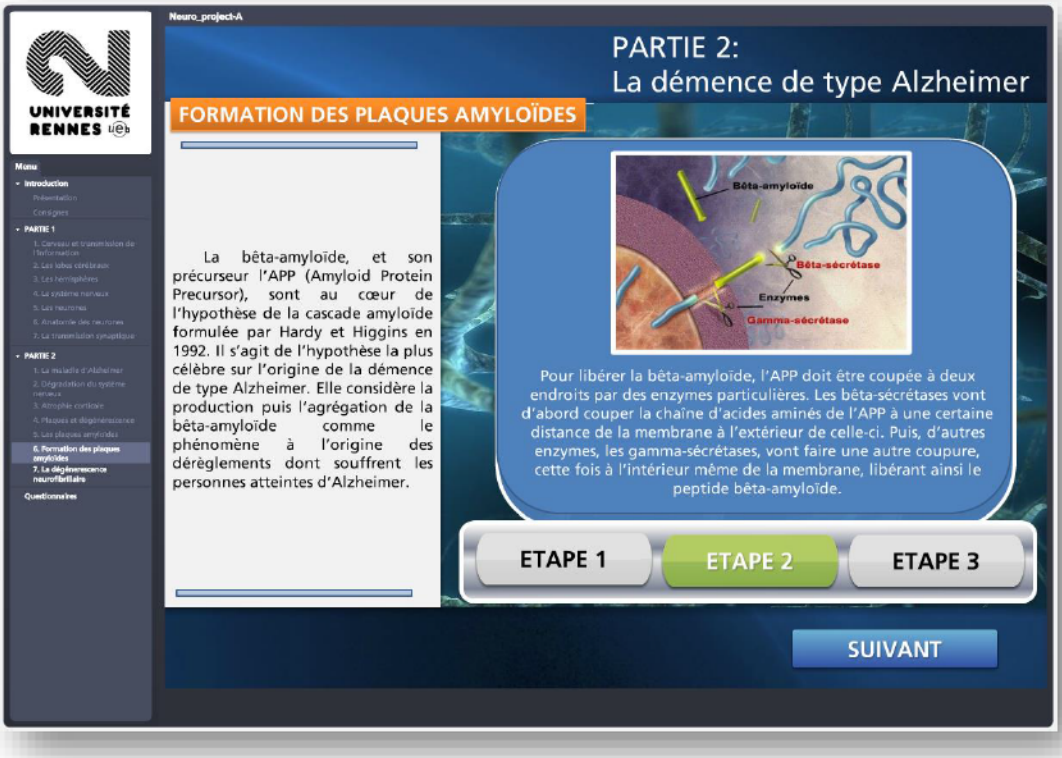


Fig. A. 28. Chapitre 7 de l'ENA - extrait 2/3

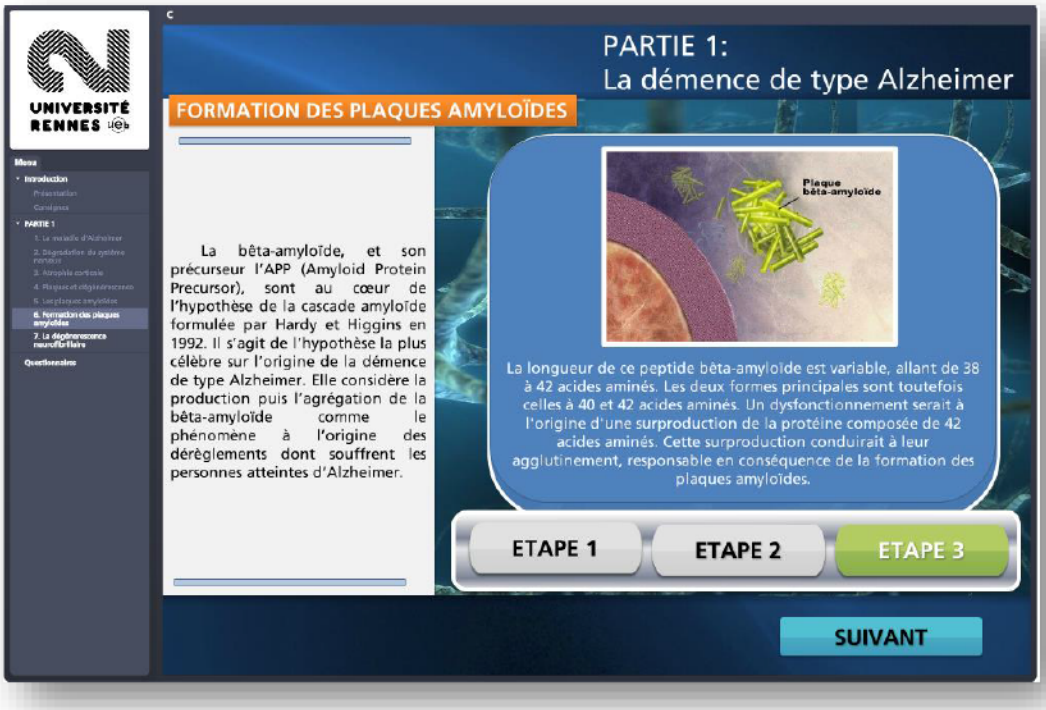


Fig. A. 29. Chapitre 7 de l'ENA - extrait 3/3

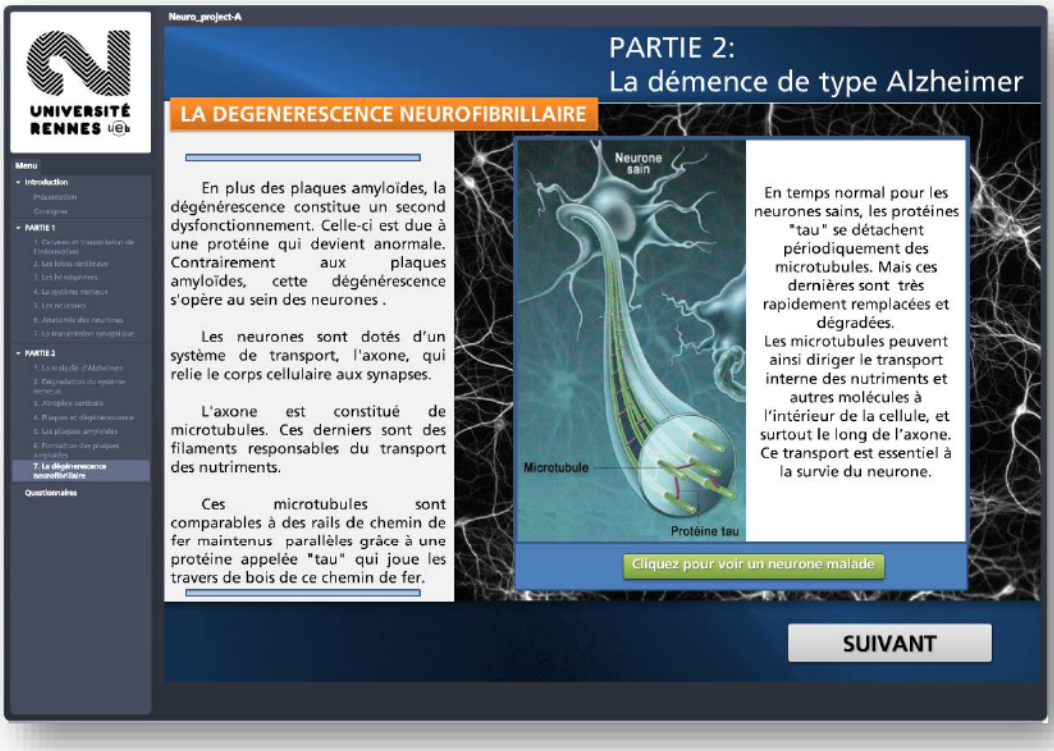


Fig. A. 30. Chapitre 8 de l'ENA – extrait 1/2

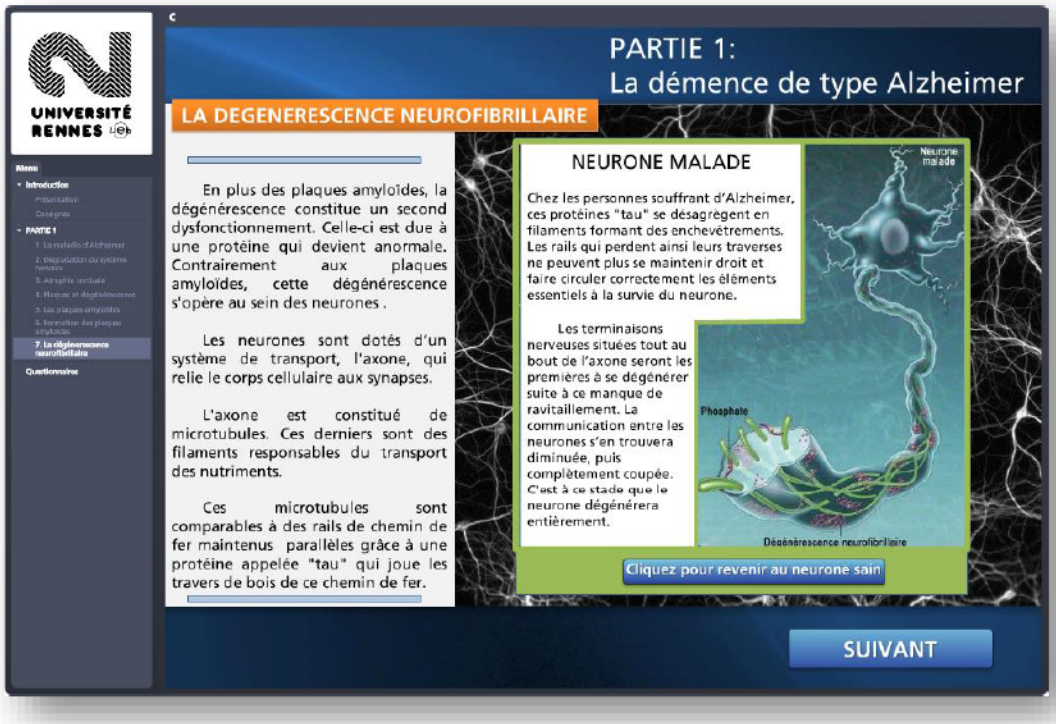


Fig. A. 31. Chapitre 8 de l'ENA – extrait 2/2

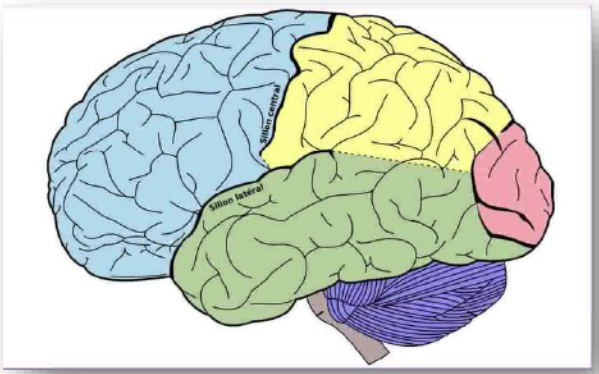
ANNEXE 3 : 48 questions sélectionnées pour l'élaboration des quiz



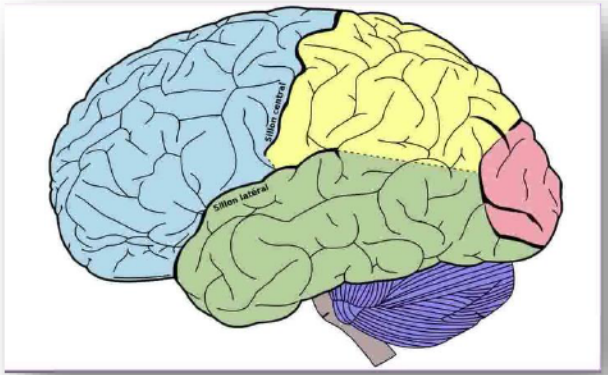
Fig. A. 32. Exemples de quiz et de questions utilisées lors de l'évaluation finale avec les trois *feedbacks* possibles

QUIZ CHAPITRE 1

1- Double cliquez sur le lobe occipital



2- Double cliquez sur le lobe pariétal



3- Quel lobe est sollicité lorsque je mange un bon repas ? Je sollicite tout particulièrement les lobes ..... (pariétaux)

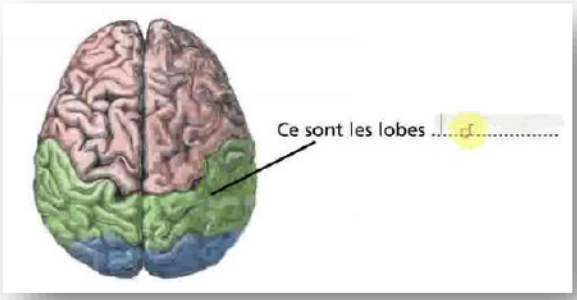
4- Complétez la phrase ci-dessous : Lorsque je planifie des activités, j'active mes lobes ..... ! (frontaux)

5- Complétez la phrase ci-dessous : Lorsque je me remémore un souvenir, j'active tout particulièrement mes lobes ..... (temporaux)

6- Complétez la phrase suivante : Lorsque je traite des formes ou des couleurs, j'active tout particulièrement mes lobes ..... (occipitaux)

QUIZ CHAPITRE 2

7- Complétez le schéma suivant : ce sont les lobes ..... (pariétaux)



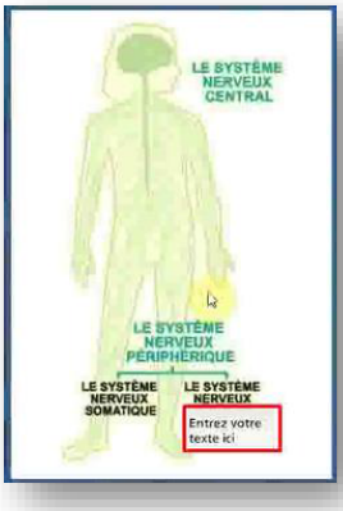
8- Que forment les hémisphères en se repliant ? Il forme des ..... (circonvolutions)

9- Selon le document, quel organe est semblable à une tour de contrôle ? L'organe semblable à une tour de contrôle est ..... (le cerveau)

10- Quel système nerveux est constitué du cerveau et de la moelle épinière ? Le système nerveux .....(central)

11- Quel système nerveux relaye les ordres ? Le système nerveux ..... (périphérique)

12- Complétez le schéma ci-dessous : Le système nerveux ..... (végétatif)



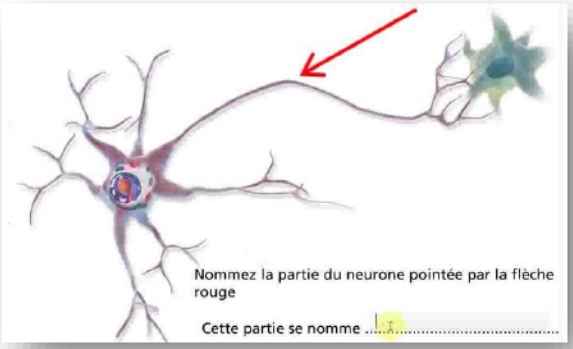
QUIZ CHAPITRE 3

13- Quelles sont les cellules les plus répandues au sein du système nerveux ? Ce sont les cellules ..... (gliales)

14- Selon le document, quel type de microscope permet d'observer des neurones. C'est le microscope électronique ..... (à balayage)

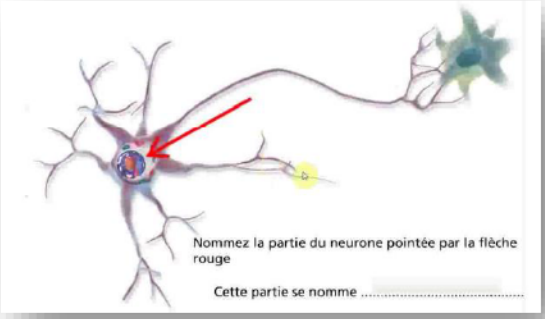
15- Qu'est ce qui recueille l'infirmation et l'achemine vers le noyau ? Ces sont les ..... (dendrites)

16- Nommez la partie du neurone pointée par la flèche rouge. Cette partie se nomme ..... (l'axone)



17- Comment s'appelle la partie qui connecte deux neurones ? Cette partie s'appelle une ..... (synapse)

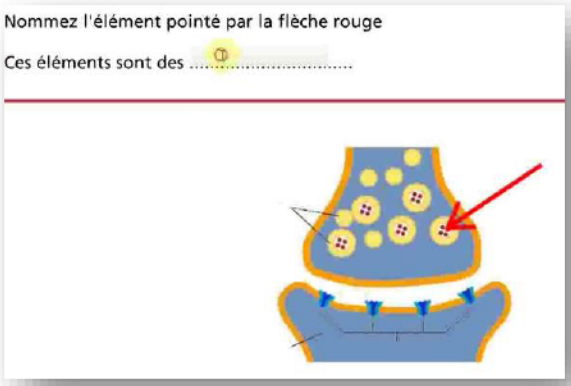
18- Nommez la partie du neurone pointée par la flèche rouge. Cette partie se nomme ..... (un noyau)



QUIZ CHAPITRE 4

19- Complétez la phrase suivante : L'influx nerveux est transmis d'un neurone à l'autre grâce à la transmission ..... (synaptique)

20- Nommez l'élément pointé par la flèche rouge. Ces éléments sont des ..... (neurotransmetteurs)

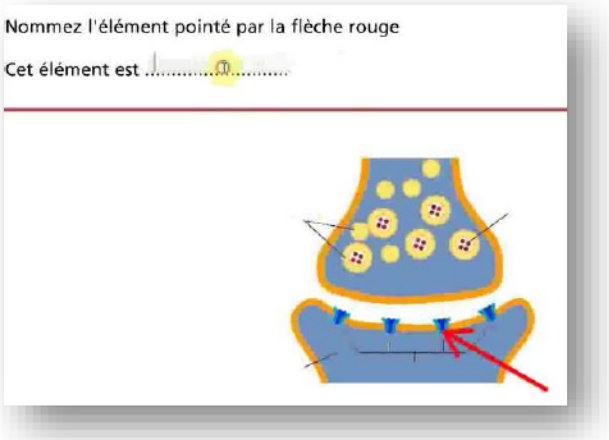


21- De quelle nature sont les messagers ? Ils sont de nature ..... (chimique)

22- Au bout de quelle extrémité se situe le bouton synaptique ? Il se situe à l'extrémité de ..... (l'axone).

23- Par quoi sont reconnus les messagers chimiques ? Ils sont reconnus par les ..... (récepteurs)

24- Nommez l'élément pointé par la flèche rouge. Cet élément est ……(un récepteur)



QUIZ CHAPITRE 5

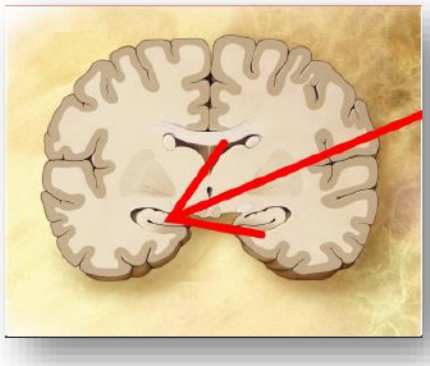
25- Il existe des facteurs de risque connus qui permettent d'expliquer l'émergence de la maladie d'Alzheimer : certaines anomalies ....., des facteurs de risque cardio-vasculaires ou encore l'intoxication à certains métaux lourds. (génétique)

26- En cas de vieillissement dit "sain", quelle est en 10 ans la proportion de poids perdue par le cerveau ? La proportion de poids perdue est d'environ .....% (2)

27- Quelle structure du cerveau, discutée dans le document, trouve-t-on dans le lobe temporal ? On trouve l'.....(hippocampe)

28- Comment se nomment les parties du cerveau qui s'agrandissent considérablement durant la maladie d'Alzheimer ? Ces parties du cerveau qui s'agrandissent sont les ..... (ventirucles)

29- Complétez le schéma suivant : Cette partie se nomme ..... (l'hippocampe)



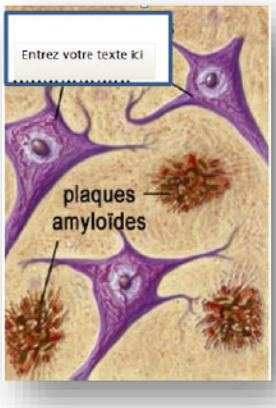
30- Ceci est une coupe ..... du cerveau. (Coronal)



QUIZ CHAPITRE 6

31- Complétez la phrase suivante : La maladie d'Alzheimer s'accompagne d'un déclin progressif des fonctions ..... (cognitives)

32- Complétez le schéma suivant : (dégénérescence neurofibrillaire)



33- Les plaques amyloïdes et la dégénérescence neurofibrillaire sont toutes les deux des amas de..... (protéines)

34- Que deviendrait la bêta-amyloïde en cas de concentration trop élevée pour les cellules nerveuses ? Elle deviendrait..... pour les cellules nerveuses. (toxique)

35- Complétez le schéma suivant: Ceci est une ..... (plaque amyloïde)



36- Où trouve-t-on le plus communément la bêta-amyloïde ?

On la trouve surtout ..... (dans le cerveau)

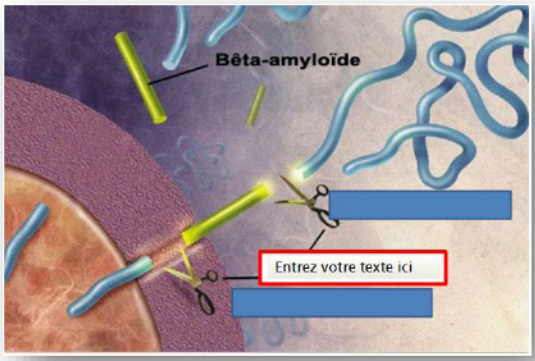
QUIZ CHAPITRE 7

37- La bêta-amyloïde et son précurseur l'APP (Amyloid Protein Precursor), sont au cœur de l'hypothèse de la..... amyloïde. (cascade)

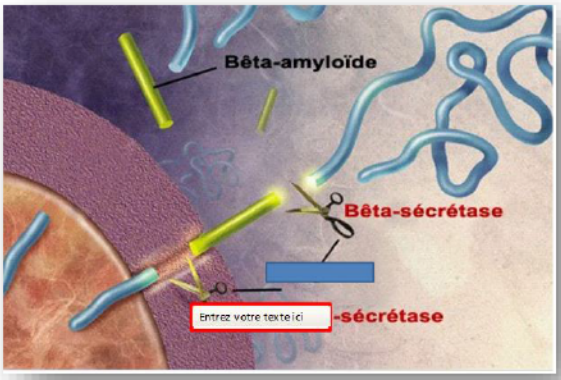
38- En quelle année a été réalisée l'hypothèse d'Hardy Higgins ? Elle a été réalisée en ..... (1992)

39- A quel endroit des neurones trouve-on l'APP ?
On la retrouve essentiellement à l'extrémité de ..... (l'axone)

40- Complétez le schéma suivant : (enzymes)



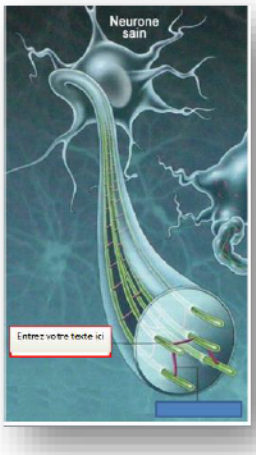
41- Complétez le schéma suivant (Gamma-sécrétase):



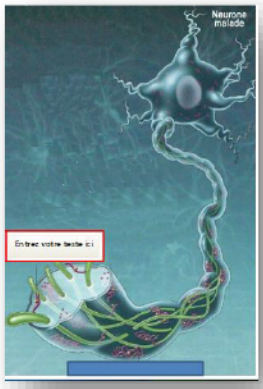
42- De combien d'acides aminés est composée la protéine bêta-amyloïde responsable de la maladie d'Alzheimer? Elle est constituée de ..... acides aminés. (42)

QUIZ CHAPITRE 8

43- Complétez le schéma suivant (microtubules) :



44- Complétez le schéma suivant : (phosphate)



45- Comment s'appelle le système de transport reliant le corps cellulaire à son extrémité ? Ce système de transport s'appelle ..... (l'axone)

46- Quelle est le nom de la protéine qui maintient les microtubules droits ? C'est la protéine ..... (tau)

47- Quelles parties des neurones sont les premières à être soumises à la dégénération en raison d'un manque de ravitaillement ? Les ..... nerveuses (terminaisons)

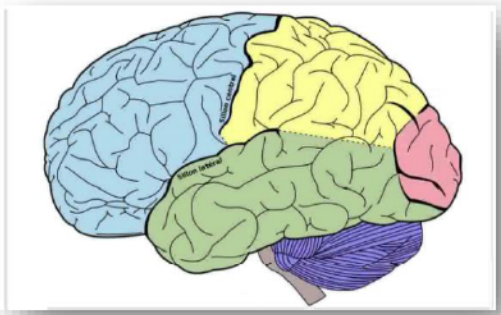
48- Quelle comparaison est utilisée par le document pour décrire les microtubules ?

La comparaison utilisée ici pour décrire les microtubules sont les ..... (rails de chemin de fer)

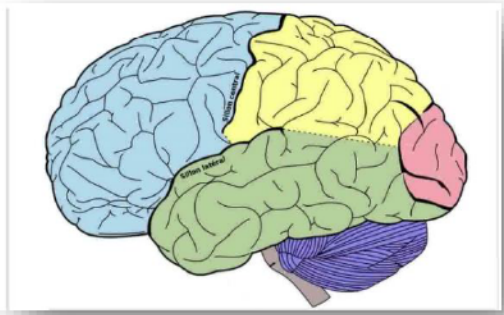
ANNEXE 4 : 48 questions sélectionnées pour l'élaboration du questionnaire de mémorisation

QUESTIONNAIRE DE MÉMORISATION CHAPITRE 1

49- Double cliquez sur le lobe frontal.



50- Double cliquez sur le lobe temporal.



51- Complétez la phrase ci-dessous : Lorsque j'organise ma journée, j'active mes lobes ..... (frontaux)

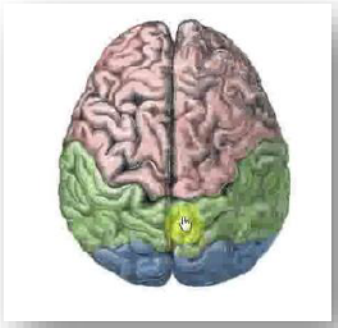
52- Complétez la phrase suivante : Lorsque je perçois de la température ou de la douleur, les lobes ..... sont très activés (pariétaux)

53- Quels sont les lobes impliqués dans le décodage de l'information visuelle ? Ce sont les lobes ..... (occipitaux)

54- Complétez la phrase ci-dessous : Lorsque j'écoute de la musique, j'active tout particulièrement mes lobes ..... (temporaux).

QUESTIONNAIRE DE MÉMORISATION CHAPITRE 2

55- Double cliquez sur les lobes occipitaux (schéma)

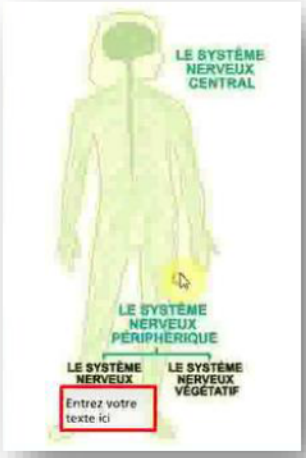


56- Le contrôle moteur est croisé : l'hémisphère droit s'occupe du côté gauche du corps et vice versa. On dit que l'hémisphère s'occupe de la partie ..... du corps. (collatérale)

57- Comment s'appelle les câbles responsables de la transmission d'informations au sein du corps ? Ces câbles s'appellent des ..... (nerfs)

58- Quel système nerveux est constitué des nerfs ? Le système nerveux ..... (périphérique)

59- Complétez le schéma ci-dessous : Le système nerveux ..... (somatique)



60- Comment se nomme l'armure de la moelle épinière ? C'est la ..... (colonne vertébrale)

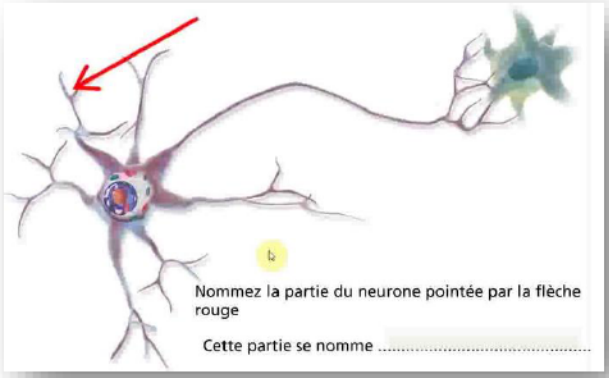
QUESTIONNAIRE DE MÉMORISATION CHAPITRE 3

61- Quelles sont les cellules qui nous rendent si malin ? Ce sont ..... (les neurones)

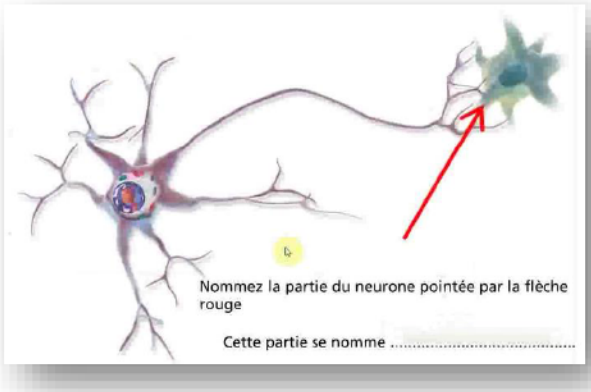
62- Quel principe est utilisé par le microscope électronique à balayage ? le principe des interactions ..... (électron-matières)

63- Qu'est-ce qui peut stimuler directement un muscle ou une glande ? .....

64- Nommez la partie du neurone pointée par la flèche rouge. Cette partie se nomme ..... (les dendrites)



65- Nommez la partie du neurone pointée par la flèche rouge. Cette partie se nomme (une synapse)

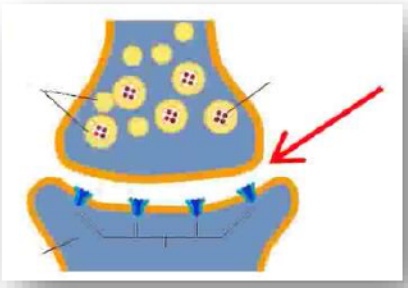


66- Si je représente un noyau de cellule neuronale par une balle de Ping pong, de combien de mètres de corde vais-je avoir besoin pour représenter l'axone ? Je vais avoir besoin de ..... mètres de corde (400).

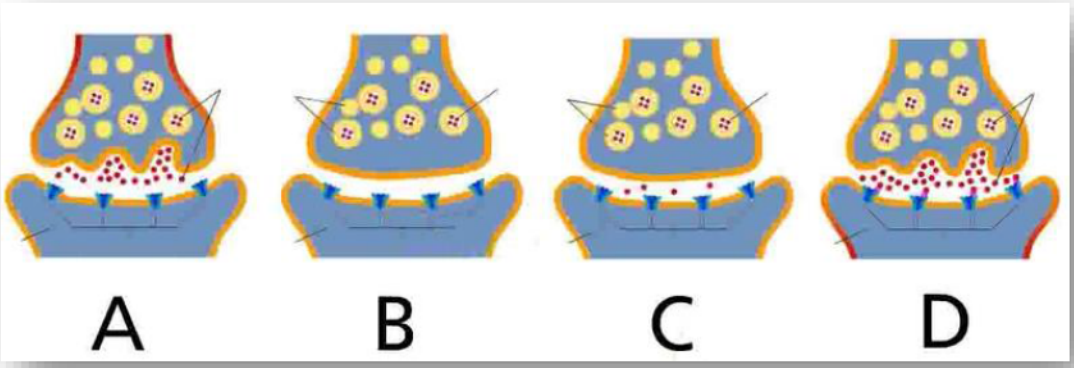
QUESTIONNAIRE DE RETENTION CHAPITRE 4

67- Complétez la phrase suivante : En combien de grandes étapes peut être subdivisée la transmission synaptique ? La transmission synaptique peut être subdivisée en ..... grandes étapes (4)

68- Nommez l'élément pointé par la flèche rouge. Cet élément est la ..... (fente synaptique)



69- Remettez dans l'ordre les étapes de la transmission synaptique présentez ci-dessous (BADC)



70- Complétez la phrase suivante : Les messagers chimiques qui sont réintégrés, le sont au sein de la ..... Synaptique. (vésicule)

71- Qu'est ce qui est à l'origine de la libération des messagers chimiques ? ..... (l'influx nerveux)

72- Les vésicules synaptique sont stockées au sein du ..... Synaptique. (bouton)

QUESTIONNAIRE DE RETENTION CHAPITRE 5

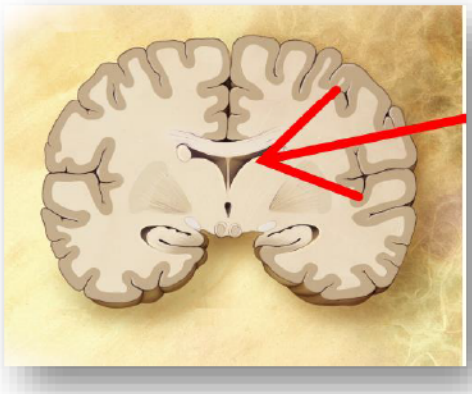
73- Comment est qualifié le phénomène responsable de la dégradation irréversible du système nerveux ? C'est un phénomène neuro..... (dégénératif)

74- En cas de maladie d'Alzheimer, quelle est en 10 ans la proportion de poids perdue par le cerveau? La proportion de cerveau perdue est d'environ .....% (10)

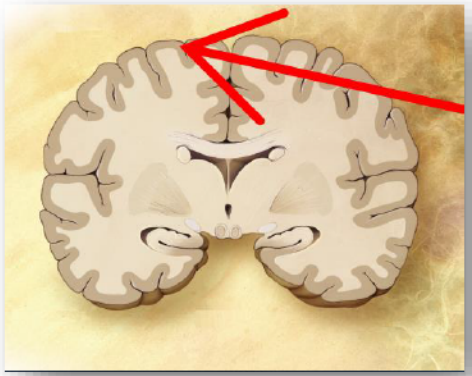
75- Quel lobe est particulièrement marqué par un rétrécissement lors d'une démence de type Alzheimer ? C'est le lobe ..... (temporal)

76- Selon le document, quel est le rôle de l'hippocampe ? Le document nous renseigne sur le fait que l'hippocampe est important lors de la formation des ..... (souvenirs)

77- Complétez le schéma suivant : Ce sont les ..... (ventricules)

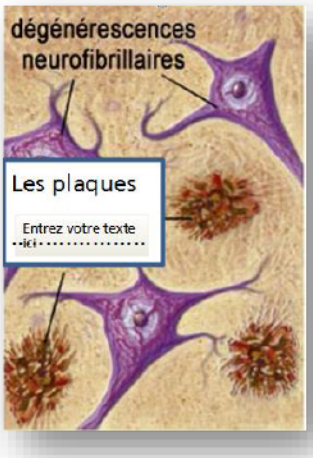


78- Complétez le schéma suivant : Ceci est ..... (le cortex)



QUESTIONNAIRE DE RETENTION CHAPITRE 6

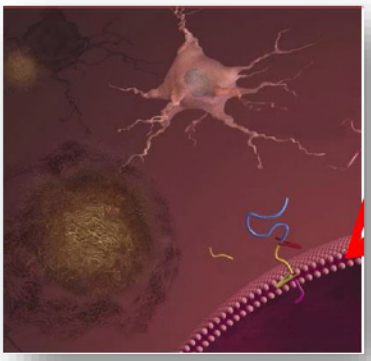
79- Complétez le schéma suivant : (amyloïdes)



80- On associe deux types de lésions au cortex cérébral lors d'une maladie d'Alzheimer. La première étant les plaques amyloïdes, quelle est la seconde ? La seconde lésion se nomme la dégénérescence ..... (neurofibrillaire)

81- Les plaques amyloïdes s'appellent aussi des plaques ..... (séniles)

82- Complétez le schéma suivant: Ceci est la ..... (membrane cellulaire)



83- La membrane est formée de sucre, de protéines et de quel autre assemblage moléculaire. Elle est aussi composée de ..... (lipides)

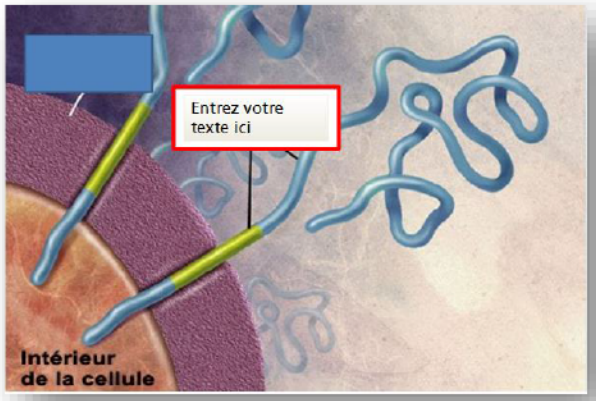
84- Complétez la phrase suivante: La bêta-amyloïde est formée de 40 à 42 ..... (protéines)

QUESTIONNAIRE DE RETENTION CHAPITRE 7

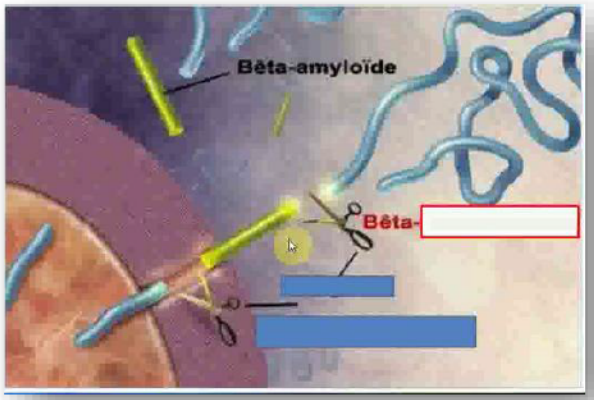
85- Quelles sont les initiales de la protéine à l'origine de la bêta-amyloide ? Ses initiales sont ..... (APP)

86- L'APP est une protéine ....., c'est-à-dire située à travers la membrane des neurones. (transmembranaire)

87- Complétez le schéma suivant: (APP)



88- Complétez le schéma suivant: (sécrétase)

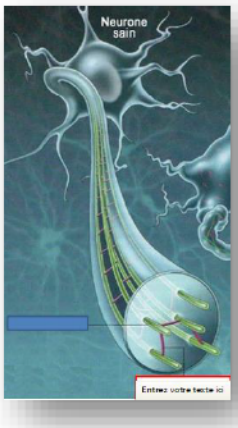


89- A quel endroit la gamma sécrétase va-t-elle effectuer la coupure de l'APP? Elle va l'effectuer à l'intérieur de ..... (membrane)

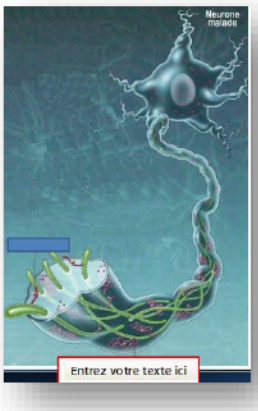
90- Comment se nomme la molécule qui coupe à deux endroits l'APP afin de créer la bêta-amyloïde? Cette molécule est un ..... (enzyme)

QUESTIONNAIRE DE RETENTION CHAPITRE 8

91- Complétez le schéma suivant: (protéine tau)



92- Complétez le schéma suivant: (dégénérescence neurofibrillaire)



93- Comment s'appellent les filaments spécialisés que l'on trouve au sein de l'axone ? Ces filaments s'appellent des ..... (microtubules)

94- Qu'est-ce qui se détache lors d'une démence de type Alzheimer ? Ce sont les ..... (microtubules)

95- Complétez la phrase suivante: Les microtubules dirigent le transport interne des ..... et autres molécules à l'intérieur de la cellule. (nutriments)

96- Selon le document, qu'est-ce qui joue le rôle des traverses de bois du chemin de fer ? Selon le document, c'est la ..... qui joue le rôle des traverses de bois (protéine tau)

ANNEXE 5 : Questionnaire de connaissances antérieures

Questionnaire

1- Le prosencéphale est constitué du télencéphale et de quelle autre grande structure corticale ?`

.....

2- Comment se nomme la gaine isolante des fibres nerveuses ?

.....

3- Que sont les astrocytes et les oligodendrocytes ?

.....

4- Que sont la sérotonine, la noradrénaline ou encore le glutamate ?

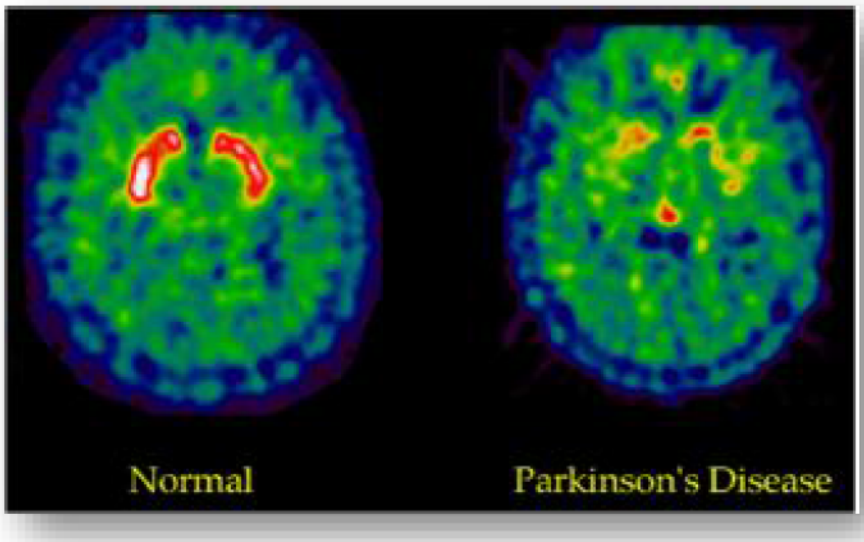
.....

5- De quoi sont composés les nerfs ?

.....

ANNEXE 6 : Questions de transfert

97 - La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative qui se caractérise par une altération du noyau caudé et du putamen. Quel phénomène (retrouvé également pour la maladie d'Alzeimer) pouvons-nous observer sur le schéma ?



On observe ici une ..... (atrophie corticale)

98 - Tout comme le neurone, l'ensemble des cellules est composé d'un cytosquelette qui permet le maintien de la structure cellulaire. Ce cytosquelette est également impliqué dans les mouvements intracellulaires (migration des organites, transport axonal…). Selon vous, quels filaments composent les cytosquelettes des cellules.
Ces filaments sont des ..... (microtubules)

99 - maladie neurodégénérative de Parkinson est associée avec une accumulation de protéines alpha-synucléines. Cette accumulation toxique est responsable de la mort des neurones. Quel phénomène similaire retrouve-t-on dans la maladie d'Alzheimer ?

Dans la maladie d'Alzheimer, le phénomène similaire est l'accumulation de ..... (plaques amyloïdes)

100 - La maladie de Parkinson se caractérise par la mort de neurones au sein du striatum. Selon vous, de quel type est la maladie de Parkinson ? Elle est de type ..... (neurodégénérative)

101 - Selon vous, quelle est sur ce schéma cette zone du cerveau anormalement développée ? Cette zone représente des ..... anormalement grands. (ventricules)



102 - L'insuline qui a entre autres un rôle essentiel dans la régulation et dans la gestion du glucose dans le sang est une hormone qui est fabriquée à partir de la pré-pro-insuline. La molécule pré-pro-insuline est découpée en deux temps par une molécule.

D'après vous, quel type de molécule serait responsable de la transformation de la pré-pro-insuline en insuline ? Il s'agit ..... (enzymes)

ANNEXE 7 : Grille de codage

Tableau. A. 1 – Grille de codage des études 2, 3 et 4 adaptée de l'étude 1.

Processus d'AAR	Description	Exemple
macroprocessus: Monitoring		
Jugement d'apprentissage	L'apprenant effectue un jugement sur la qualité de son apprentissage	"Je ne comprends pas ce qu'est un enzyme"
Monitoring bref	L'apprenant vérifie brièvement l'état de sa compréhension	[Learner reads text] "… Ok" [Learner reads text] "… D'accord"
Sentiment de savoir	L'apprenant déclare qu'il ou elle a le sentiment de connaitre l'information	" Je suis sûr(e) d'avoir vu cela quelque part …"
Jugement d'intérêt	L'apprenant fait état de son intérêt ou de son ennuie	"Waouh! Ce module de neuroscience est extraordinaire !"
Evaluation du contenu	L'apprenant commente la qualité de l'environnement d'apprentissage	"C'est vraiment bien expliqué !"
Difficulté de la tâche	L'apprenant fait état de sa facilité ou de sa difficulté pour apprendre le document	"C'est tellement facile!"
Macroprocessus: Stratégies d'apprentissage		
Résumé	Résumer l'information lue ou inspectée dans l'ENA	"Ah… donc en fait, ça décrit deux enzymes, le premier, la bêta-sécrétase découpe l'APP à l'extérieur de la membrane alors que la

		seconde, la gamma sécrétase la coupe à l'intérieur du neurone.
Construction de connaissances	Intégrer des informations du texte aux informations des illustrations	[L'apprenant lit la définition d'un ventricule] "Donc ces deux parties sur le schéma ce sont des cavités remplies de fluide."
Inférence	L'apprenant déduit des informations non explicitement présentes dans le document.	"L'élargissement du ventricule doit sûrement provoquer une réduction de la matière grise."
Auto-questionnement	Formuler des questions sur ce qui vient d'être vu ou lu	"Alors c'est quoi un neurotransmetteur ?"
Activation de connaissances antérieures	Mettre en lien l'information vue ou lue avec des connaissances antérieures	"Je me souviens avoir étudié ça au lycée"
Mémorisation	L'apprenant utilise une stratégie de répétition pour encoder l'information	Protéine Tau… Protéine Tau … Protéine Tau …
Relecture	Relire une phrase préalablement lue	[L'apprenant lit une phrase qui a déjà été lue]
Control	L'apprenant verbalise une décision sur une stratégie à appliquer	"Je crois que je vais relire ce paragraphe"

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Grille de codage des processus d'AAR.....91
Tableau 2. Corrélations entre les processus d'AAR et les scores obtenus aux questionnaires de mémorisation et de transfert.....99
Tableau 3. Moyennes et écart-types (SD) pour l'utilisation des processus d'AAR pour chaque groupe. 100
Tableau 4. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé. 101
Tableau 5. Corrélation entre les processus d'AAR et les performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert.....116
Tableau 6. Moyennes et écarts-types (SD) du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (« quiz standards », « quiz facilités » et contrôle). ...117
Tableau 7. BIC pour chaque modèle d'effet des variables expérimentales groupes sur l'utilisation de processus d'AAR. 119
Tableau 8. Effet indirect de chaque microprocessus et leur intervalle de confiance associé pour les groupes « quiz standards » et « quiz facilités ».....120
Tableau 9. Moyennes et écarts-types des bias index mémorisation et transfert pour le facteur quiz (avec et sans) et pour le facteur incitations stratégiques (avec et sans).....134
Tableau 10. Corrélations entre les processus d'AAR et les performances obtenues aux questionnaires de mémorisation et de transfert.....136
Tableau 11. Moyennes et écart-types (SD) du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »). 137
Tableau 12. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour le facteur quiz.....140
Tableau 13. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour le facteur incitations stratégiques. 142

Tableau 14. Corrélations entre les processus d'AAR et les performances au questionnaire de mémorisation et de transfert. 157
Tableau 15. Moyennes et écart-types (SD) du nombre d'utilisations de chacun des processus d'AAR pour chaque groupe expérimental (avec tests et sans test). 157
Tableau 16. Effet indirect de chaque microprocessus et intervalle de confiance associé pour les performances au questionnaire de mémorisation et de transfert. 161

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Exemple d'un cours multimédia portant sur la transmission synaptique extrait du site libre de droit « le cerveau à tous les niveaux ». 15
Fig. 2. Figure extraite de Kintsch et Rawson (2005) représentant un extrait de la microstructure d'un texte explicatif sur le fonctionnement du cœur. 17
Fig. 3. Figure extraite de Kintsch & Rawson (2005) représentant une macrostructure d'un texte explicatif sur le fonctionnement du cœur humain. 18
Fig. 4. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2009). 20
Fig. 5. Modèle cognitif de la construction de connaissances de Mayer (1992). 23
Fig. 6. Modèle de l'apprentissage auto-régulé de Winne & Hadwin (1998). 35
Fig. 7. Figure extraite de Nelson & Narens (1990) représentant les deux niveaux interreliés par les processus métacognitifs de monitoring et de control. 41
Fig. 8. Modèle d'interaction du processus de monitoring et de control extrait de Nelson & Narens (1990). 44
Fig. 9. Procédure de l'expérience de Thiede et al. (2003, notre traduction). 56
Fig. 10. Nombre d'articles parus par an étudiant l'effet des tests (extrait de Karpicke, 2017). 58
Fig. 11. À gauche, proportions moyennes d'informations rappelées pour chacun des trois groupes (SSSS, SSST et STTT) dans chaque condition (récupération immédiate versus différée) ; à droite, moyennes des scores de confiance des participants sur leur capacité à restituer l'information apprise une semaine plus tard. Données adaptées de Roediger & Karpicke (2006, expérience 2) par Nunes et Karpicke (2015). 60
Fig. 12. Exemple fictif de deux participants obtenant des indices de précision absolue et relative différents. 69
Fig. 13. Diapositives 3 (a.) et 4 (b.) du module d'entraînement. 80
Fig. 14. Extraits des chapitres 3 (a.), 4 (b.), 5 (c.) et 7 (d.) de l'ENA. 81
Fig. 15. Exemples de questions utilisées dans les quiz et portant soit sur du texte (gauche), soit sur une illustration (droite). 83
Fig. 16. Exemple de question de quiz avec les trois feedbacks possibles. 84

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Fig. 17. Question de jugement d'apprentissage. 85
Fig. 18. Protocole expérimental pour les groupes « avec quiz » (en haut) et contrôle (en bas)...89
Fig. 19. Moyennes des scores obtenus aux questionnaires de mémorisation et de transfert et écarts-types pour chaque groupe expérimental (« avec quiz » et contrôle).....96
Fig. 20. Moyennes et écarts-types des bias index mémorisation pour chacun des groupes (avec quiz ou contrôle). 97
Fig. 21. Moyennes et écarts-types des bias index transfert pour chacun des groupes (avec quiz ou contrôle). 97
Fig. 22. Modèle de la relation entre la présence de quiz et les performances de mémorisation médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; MUS = monitoring de l'utilisation des stratégies ; CC. = construction de connaissances ; CSI. = coordination des sources d'informations ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés. 102
Fig. 23. Exemple de question utilisée dans le groupe « quiz standards » (gauche) et dans le groupe « quiz facilités » (droite).....108
Fig. 24. Protocole expérimental pour les groupes « quiz standards » et « quiz facilités » (en haut) et pour le groupe contrôle (en bas). 109
Fig. 25. Scores moyens et écarts-types pour chaque questionnaire (mémorisation et transfert) et pour chaque groupe expérimental (contrôle, « quiz facilités » et « quiz standards »). 113
Fig. 26. Moyennes et écarts-types des bias index mémorisation pour chacun des groupes (« quiz standards », « quiz facilités », contrôle). 114
Fig. 27. Moyennes et écarts-types des bias index transfert pour chacun des groupes (« quiz standards », « quiz facilités », contrôle). 115
Fig. 28. Nombre de monitoring brefs (en haut à gauche), de constructions de connaissances (CC., en haut à droite), de relectures (en bas à gauche) et de mémorisations (en bas à droite) pour chaque groupe expérimental (contrôle, « quiz facilités » et « quiz standards »).....118

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Fig. 29. Modèle de la relation entre la présence de quiz et les performances de mémorisation médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : Q. = Questionnaire ; JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés. 121
Fig. 30. Interface de la phase « incitations stratégiques ».....127
Fig. 31. Protocole expérimental pour chacun des groupes. 129
Fig. 32. Moyennes et écarts-types des performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert pour chaque groupe expérimental (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »). 132
Fig. 33. Moyennes et écarts-types des bias index mémorisation pour chacun des groupes (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).....133
Fig. 34. Moyennes et écarts-types des bias index transfert pour chacun des groupes (« avec quiz et sans incitations stratégiques », « avec quiz et avec incitations stratégiques », « sans quiz et sans incitations stratégiques », « sans quiz et avec incitations stratégiques »).....135
Fig. 35. Nombre de monitoring brefs (à gauche), de résumés (au centre), et de mémorisations (à droite) pour les participants bénéficiant d'incitations stratégiques (avec IS) ou non (sans IS). .138
Fig. 36. Nombre de jugements d'apprentissage (JOL, à gauche), de constructions de connaissances (CC. à droite), pour les participants bénéficiant ou non de quiz. 139
Fig. 37. Modèle des relations entre d'une part la présence de quiz et les performances de mémorisation et de transfert médiatisées par les processus d'AAR et d'autre part entre la présence d'incitations stratégiques (IS) et les performances de mémorisation et de transfert médiatisées par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés. 143
Fig. 38. Exemples de diapositives utilisées dans le test d'enseignement. 151
Fig. 39. Protocole expérimental pour le groupe « avec tests d'enseignement » et pour le groupe contrôle. 152
Fig. 40. Moyennes et écarts-types des performances aux questionnaires de mémorisation et de transfert pour chaque groupe expérimental (avec tests et sans test). 154
Fig. 41. Moyennes et écarts-types des bias index mémorisation pour chacun des groupes (avec tests et sans test). 155
Fig. 42. Moyennes et écarts-types des bias index transfert pour chacun des groupes (avec tests et sans test). 156
Fig. 43. Moyennes et écarts-types du nombre d'utilisations de résumés, constructions de connaissances (CC.), relectures et mémorisationz chacun des groupes (avec tests et contrôle). 159
Fig. 44. Modèle de la relation entre la présence de tests d'enseignements et les performances obtenues aux questionnaires de mémorisation et de transfert médiatisée par les processus d'AAR. L'intervalle de confiance de l'effet indirect est un intervalle bootstrappé basé sur 20 000 échantillons. Note : JOL = jugement d'apprentissage ; CC. = construction de connaissances ; *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001. Les médiations significatives sont indiquées en traits pleins et celles non significatives sont représentées en traits pointillés. 162

Liste des Figures des annexes

Fig. A. 1. Diapositive de présentation du module d'entraînement.....235
Fig. A. 2. Première diapositive d'introduction du modèle d'entraînement.....235
Fig. A. 3. Deuxième diapositive d'introduction du modèle d'entraînement 236
Fig. A. 4. Partie 1 du modèle d'entraînement.....236
Fig. A. 5. Partie deux du module d'entraînement.....237
Fig. A. 6. Diapositive de clôture du module d'entraînement.....237

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

Fig. A. 7. Diapositive d'introduction de la partie 1 de l'ENA 238
Fig. A. 8. Diapositive 2 d'introduction à l'ENA 238
Fig. A. 9. Diapositive d'introduction de la partie 1 de l'ENA 239
Fig. A. 10. Chapitre 1 de l'ENA 239
Fig. A. 11. Chapitre 2 de l'ENA - extrait 1/4 240
Fig. A. 12. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 2/4 240
Fig. A. 13. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 3/4 241
Fig. A. 14. Chapitre 2 de l'ENA – extrait 4/4 241
Fig. A. 15. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 1/4 242
Fig. A. 16. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 2/4 242
Fig. A. 17. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 3/4 243
Fig. A. 18. Chapitre 3 de l'ENA – extrait 4/4 243
Fig. A. 19. Chapitre 4 de l'ENA 244
Fig. A. 20. Diapositive d'introduction de la partie 2 244
Fig. A. 21. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 1/3 245
Fig. A. 22. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 2/3 245
Fig. A. 23. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 3/3 246
Fig. A. 24. Chapitre 6 de l'ENA – extrait 1/3 246
Fig. A. 25. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 2/3 247
Fig. A. 26. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 3/3 247
Fig. A. 27. Chapitre 7 de l'ENA – extrait 1/3 248
Fig. A. 28. Chapitre 7 de l'ENA - extrait 2/3 248
Fig. A. 29. Chapitre 7 de l'ENA - extrait 3/3 249
Fig. A. 30. Chapitre 8 de l'ENA – extrait 1/2 249
Fig. A. 31. Chapitre 8 de l'ENA – extrait 2/2 250
Fig. A. 32. Exemples de quiz et de questions utilisées lors de l'évaluation finale avec les trois feedbacks possibles 251

Fernandez, Jonathan. Favoriser un apprentissage actif : Effets des tests d'entraînement sur les processus cognitifs et métacognitifs - 2017

FAVORISER UN APPRENTISSAGE ACTIF : EFFETS DES TESTS D'ENTRAÎNEMENT SUR LES PROCESSUS COGNITIFS ET MÉTACOGNITIFS

Résumé

Il est aujourd'hui reconnu que la réussite des étudiants à l'université repose sur leurs capacités à autoréguler leur apprentissage, c'est-à-dire à 1) fixer des objectifs adaptés à la tâche, 2) déployer des stratégies d'apprentissage efficaces et 3) vérifier régulièrement si ces objectifs ont été atteints. Or, lorsqu'ils apprennent des documents complexes, ceux-ci ont tendance à traiter passivement l'information et à surestimer la qualité de leur apprentissage. Cette thèse vise à déterminer si le fait d'insérer des tests d'entraînement au sein d'un document multimédia amène les étudiants à traiter plus activement les informations. Pour ce faire, nous avons réalisé quatre expériences au cours desquelles des étudiants recevaient ou non des tests d'entraînement pendant qu'ils apprenaient un cours de neurosciences. Afin d'évaluer les effets des tests sur l'activité cognitive et métacognitive des participants, nous avons combiné un questionnaire d'estimation de l'apprentissage à un protocole de verbalisation. Nos résultats montrent que les participants qui bénéficient de tests estiment plus précisément la qualité de leur apprentissage et obtiennent de meilleures performances que les participants non testés. Par ailleurs, ces meilleures performances s'expliquent par un déploiement de stratégies d'apprentissage plus adaptées à l'exigence de la tâche. Enfin, ces effets bénéfiques disparaissent lorsque l'exigence des tests d'entraînement diffère de celles de l'évaluation finale. L'ensemble de nos résultats permet de mieux comprendre les mécanismes sous-tendant l'effet des tests sur l'apprentissage ainsi que d'identifier les conditions qui favorisent leur efficacité.

Mots clés : apprentissage autorégulé, métacognition, stratégies d'apprentissage, effets des tests, documents multimédias, protocole de verbalisation

PROMOTING ACTIVE LEARNING: EFFECTS OF PRACTICE TESTING ON COGNITIVE AND METACOGNITIVE PROCESSES

Abstract

It is generally accepted that students need to effectively self-regulate their learning to succeed in university, that is to 1) establish appropriate goals, 2) use effective learning strategies and 3) frequently monitor if their goals have been met. Unfortunately, when students learn complex document, they tend to process the information in a passive way and be overconfident regarding the quality of their learning. The purpose of this thesis is to study if inserting regular practice tests in a multimedia document can promote a more active learning. To pursue this thesis' aim, four experiments were conducted whereby students were exposed to a neuroscience course and were provided with or not, different types of practice tests. We used a judgment of learning questionnaire and a think aloud protocol to assess the impact of practices tests on cognitive and metacognitive processes. Results showed that, compared with control groups, participants in the practice testing groups were significantly less overconfident in their ability to recall recently learned information and performed better on a post-test questionnaire. Furthermore, enhanced learning performance was explained by the use of more efficient learning strategies. However, when test requirement mismatched those of the final test, practice tests brought none of these beneficial effects and was therefore unhelpful for students learning. Overall, the studies' results gave us a better insight into the psychological mechanism underlying the testing effect on learning and identify the conditions that favor it.

Keywords Self-regulated learning, metacognition, learning strategies, testing effects, multimedia, think aloud protocol

LP3C – EA 1285
Université Rennes 2
Place du Recteur Henri Le Moal
CS 24307
35043 Rennes Cedex