COLLEGE DOCTORAL BRETAGNE
EDUCATION, LANGAGES INTERACTIONS, COGNITION CLINIQUE, EXPERTISE

UNIVERSITÉ RENNES 2

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE RENNES 2

ECOLE DOCTORALE N° 646
Education, Langages, Interactions, Cognition, Clinique, Expertise
Spécialité : *Psychologie*

Par
Laura LECONTE

Stratégies d'apprentissage par le dessin sur tablette en formation médicale et paramédicale :
Effets de différents types de supports de l'activité sur les performances d'apprentissage et les perceptions des étudiant·es

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 13 mars 2026
Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C)

Rapporteur·es avant soutenance :

Mireille Bétrancourt	Professeure des universités - Université de Genève
Franck Amadieu	Professeur des universités - Université de Toulouse

Composition du Jury :

Examinateur·rices :	**Nathalie Bonneton-Botté**	Professeure des universités – INSPE de Bretagne
	Tiphaine Colliot	Maître de conférences - Université de Poitiers
	Mireille Bétrancourt	Professeure des universités - Université de Genève
	Franck Amadieu	Professeur des universités - Université Toulouse Jean Jaurès
Directeur de thèse :	**Éric Jamet**	Professeur des universités - Université Rennes 2

Projet ANR SKETCH n°-ANR-21-CE38-009-01

Financé par l'Agence Nationale de la Recherche :

Mené en collaboration par le Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C) et l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (IRISA) de Rennes

En partenariat avec l'Institut de Formation en Pédicurie-Podologie, Ergothérapie et Masso-Kinésithérapie de Rennes (IFPEK) et l'Institut de Formation des Professionnels de Santé (IFPS) du centre hospitalier Guillaume Régnier de Rennes

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Éric Jamet, pour son accompagnement au fil de ces nombreuses années. Depuis mes travaux de master, puis lors de mon activité d'ingénieure d'études au sein du laboratoire LOUSTIC, jusqu'à ce travail de thèse (et oui… les tablettes auront beaucoup voyagé !). Merci pour tous ces projets aussi intéressants qu'enrichissants, pour ta confiance et tes conseils qui ont été déterminants tout au long de ces années, et plus particulièrement dans l'aboutissement de cette thèse.

Je remercie ensuite Anya et Élisa, deux ingénieures d'études avec qui j'ai eu la chance de travailler dans le cadre du projet SKETCH. Merci pour votre engagement dans toutes les expérimentations de cette thèse, ainsi que pour tous les moments partagés. Merci également à Eugénie, Betty, Zoé, Tiphaine et Eva pour leur participation au projet pendant leur stage au LP3C.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'implication des collaborateur·rices et partenaires du projet SKETCH. Je tiens à remercier tout particulièrement les membres de l'équipe SHADOC de l'IRISA de Rennes (Éric Anquetil, Nathalie Girard, Islam Barchouch, Omar Krichen, et Bruno Hortollary), ainsi que les formateur·rices de l'IFPEK de Rennes (Manon Bessette, Audrey Knoploch, Stéphanie Desbois et Emilien Vallet), et les formateur·rices de l'IFPS (Guillaume Hamon, Vincent Hardé, Pascale Martin, Olivier Bécouze et Benoît Houé). Merci infiniment pour tous les échanges enrichissants et constructifs que nous avons eus, pour le temps que vous avez consacré à ce projet et pour votre engagement tout au long de celui-ci. Merci également à l'ensemble des étudiant·es ayant participé à nos études pour leur implication et la qualité de leurs retours.

Ce travail s'inscrivant au cœur des formations en santé, je tiens plus largement à remercier et à adresser ma sincère reconnaissance à l'ensemble des professionnel·les de santé, pour leur engagement, leur humanité et leur rôle essentiel dans l'accompagnement, le soin et l'amélioration du quotidien des personnes.

Je remercie les membres du jury, Franck Amadieu, Mireille Bétrancourt, Nathalie Bonneton-Botté, et Tiphaine Colliot d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Merci pour l'intérêt porté à cette recherche, pour le temps consacré à la lecture de cette thèse et pour les échanges scientifiques qu'elle suscitera. Merci également aux membres de mon comité de suivi individuel (CSI), Julie Lemarié et Nicolas Michinov, pour les discussions et le suivi tout au long du doctorat.

Je souhaite remercier l'ensemble des collègues du laboratoire LP3C, de l'ED ELICCE, de LOUSTIC et de PEMI pour leur aide et leurs échanges. Merci à Camille, Muriel, Charlie, Anthony, Maxime, Mélissa, Mathilde, Élise, Anya, Élisa, Justine, Nino, Clémence, Jérémie, Julie, Ludivine, Jaidê, Luc, Thibault, Anne-Claire, Brivael, et Laurine, pour tous les beaux moments passés à vos côtés. Encore merci à Muriel et Camille pour vos précieuses relectures.

Un grand merci à Muriel, Pauline et Mathilde pour m'avoir épaulée (hihi) quotidiennement, et surtout supportée pendant cette période de rédaction… quelque peu musicale ! Merci à Mélissa et Chris pour les harmonies, ainsi qu'à la troupe du bus des chaussettes Célia, Pierre, Thomas et Marie pour les moments de bonheur.

Merci énormément à Camille, Mika et Charlie pour votre hiboutionnelle présence et votre soutien depuis toutes ces années de mon aventure rennaise !

Enfin, un chaleureux remerciement à mes proches bourguignon·nes : Manon & la team BR, mes ami·es de longue date, ainsi qu'à ma famille pour votre soutien et vos encouragements.

Table des matières

REMERCIEMENTS 2

INTRODUCTION GENERALE 14

PARTIE I – CADRE THEORIQUE 19

CHAPITRE 1 : CONTEXTES LIES A LA THESE 21

1. Enseignement du corps humain 21

1.1. Definition des disciplines d'anatomie et de physiologie 21

1.1.1. Définition de l'anatomie en tant que discipline 23

1.1.2. L'activité de dessin comme outil d'apprentissage de l'anatomie 24

1.2. Effets de l'activite de dessin sur les performances d'apprentissage 27

1.3. Perceptions des etudiant·es concernant l'activite de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie .. 28

1.4. Lien entre l'enseignement de l'anatomie, l'activite de dessin et le projet SKETCH 30

2. Le projet SKETCH 31

2.1. Conception collaborative et centree utilisateurs·rices 32

2.2. Axes de recherche du projet 33

3. Conclusion du chapitre 1 35

CHAPITRE 2 : APPRENTISSAGE MULTIMEDIA ET APPRENTISSAGE GENERATIF 36

1. Apprentissage a partir de textes illustres 36

1.1. Definitions et fonctions pedagogiques des illustrations 36

1.2. Difficultes de traitement des illustrations 38

2. Modeles theoriques de l'apprentissage multimedia 41

2.1. La theorie cognitive de l'apprentissage multimedia de Mayer 41
2.2. L'ajout de l'influence des facteurs motivationnels et metacognitifs 48
3. L'apprentissage generatif 50
3.1. Le modele de l'apprentissage par generation de Wittrock (1989) 50
3.2. Le modele Selection, Organisation et Integration (SOI) 52
4. Conclusion du Chapitre 2 54

CHAPITRE 3 : STRATEGIE D'APPRENTISSAGE PAR LE DESSIN 56

1. Les modeles theoriques de la strategie d'apprentissage par le dessin 57
1.1. Theorie generative de la construction de dessin de Van Meter et Garner (2005) 57
1.2. Modele cognitif de la generation de dessin de Van Meter et Firetto (2013) 60
2. Les effets de la strategie de dessin sur les performances d'apprentissage 64
2.1. La strategie de dessin comparee aux strategies textuelles 65
2.2. La strategie de dessin comparee a d'autres strategies d'apprentissage actives 67
2.3. La strategie de dessin comparee aux illustrations fournies par l'enseignant·e 68
3. Effets de la strategie de dessin sur la metacognition et la charge cognitive 70
3.1. Effet du dessin sur l'auto-evaluation 70
3.2. Effets du dessin sur la charge cognitive 72
4. Facteurs moderateurs de l'efficacite de la strategie de dessin 74
4.1. Les connaissances prealables 74
4.2. Les capacites spatiales 75
4.3. La qualite des dessins 77
5. Effets du guidage pendant l'activite de dessin 78
5.1. Le guidage minimal 79
5.2. Entrainement a la realisation du dessin d'apprentissage 80
5.3. Illustrations a completer 80

5.4. Comparaison avec une illustration fournie 82

6. L'usage de supports numeriques pour enrichir l'activite de dessin 83

6.1. Dessiner a partir d'un modele dynamique 83

6.2. Effets du support de dessin 85

7. Conclusion du Chapitre 3 88

PROBLEMATIQUE 89

PARTIE II – PARTIE EXPERIMENTALE 93

PREAMBULE 95

1. Presentation du logiciel IntuiSKETCH 95

1.1. Architecture globale du systeme IntuiSKETCH 95

1.2. IntuiSKETCH tel qu'utilise dans les experimentations de la these (mode pseudo-tuteur) 97

1.2.1. Module auteur (interface pour les enseignant·es) 98

1.2.1.1. Choix du type d'activité de dessin 100

1.2.1.2. Paramétrage des phases d'apprentissage 103

1.2.2. Module apprenant (interface pour les étudiant·es) 103

2. Creations du materiel d'apprentissage 105

2.1. Creations des contenus pedagogiques 105

2.2. Creation des questionnaires d'apprentissage 109

3. Éthique de la recherche 111

CHAPITRE 4 : LES EFFETS DE LA STRATEGIE D'APPRENTISSAGE PAR LE DESSIN SUR LES PERFORMANCES D'APPRENTISSAGE ET LA PRECISION DE L'AUTO-EVALUATION 113

1. Introduction 113

1.1. CONTEXTES THEORIQUES 113
1.2. OBJECTIFS DES ETUDES 116
2. ETUDE 1 (ETUDIANT·ES EN KINESITHERAPIE) 117
2.1. HYPOTHESES 117
2.2. METHODE 119
2.2.1. Participant·es 119
2.2.2. Matériel d'apprentissage 119
2.2.2.1. Contenus pédagogiques 119
2.2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH 120
2.2.3. MESURES 122
2.2.3.1. Mesures des variables contrôles 122
2.2.3.2. Questionnaire d'apprentissage 123
2.2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation 124
2.2.3.4. Mesure de l'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie 125
2.2.4. PROCEDURE 126
2.3. RESULTATS 127
2.3.1. Variables contrôles 127
2.3.2. Performances d'apprentissage 128
2.3.3. Précision de l'auto-évaluation 130
2.3.4. Utilité perçue du dessin 130
2.4. DISCUSSION 131
3. ETUDE 2 : REPLICATION DE L'ETUDE AUPRES D'ETUDIANT·ES INFIRMIER·ES 133
3.1. OBJECTIFS ET HYPOTHESES 133
3.2. METHODE 134
3.2.1. Participant·es 134
3.2.2. Matériel d'apprentissage 134

3.2.2.1. Contenu pédagogique 134
3.2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH 135
3.2.3. Mesures 136
3.2.3.1. Mesures des variables contrôles 136
3.2.3.2. Questionnaire d'apprentissage 137
3.2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation 138
3.2.3.4. Mesure d'utilité perçue du dessin 138
3.2.4. Procédure 139
3.3. Resultats 140
3.3.1. Variables contrôles 141
3.3.2. Performances d'apprentissage 141
3.3.3. Précision de l'auto-évaluation 142
3.3.4. Utilité perçue du dessin 143
3.4. Discussion 144
4. Discussion generale des deux etudes 145
4.1. Interpretation des resultats des deux etudes 145
4.2. Limites et perspectives 149
5. Conclusion 150

CHAPITRE 5 : EFFET DU DESSIN ET EFFET D'ORDRE SUR L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE ET LA PRECISION DE L'AUTO-EVALUATION 152

1. Introduction 152
1.1. Contexte theorique 152
1.2. Hypotheses 154
2. Methode 155
2.1. Participant·es 155

2.2. Materiel d'apprentissage 155
2.2.1. Contenus pédagogiques 155
2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH 156
2.3. Mesures 156
2.3.1. Variables contrôles 157
2.3.2. Questionnaire d'apprentissage 157
2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation 159
2.3.4. Mesure de l'utilité perçue du dessin 159
2.4. Procedure 159
3. Resultats 162
3.1. Variables controles 162
3.2. Performances d'apprentissage 163
3.3. Precision de l'auto-evaluation 164
3.4. Utilite perçue du dessin 165
4. Discussion 166
4.1. Interpretation des resultats 166
4.2. Limites et perspectives 169
5. Conclusion 171

CHAPITRE 6 : EFFET DU MODE DE GENERATION DE DESSIN SUR L'APPRENTISSAGE 173

1. Introduction 173
1.1. Contexte theorique 173
1.2. Objectifs et hypotheses 177
2. Methode 178
2.1. Participant·es 178
2.2. Materiel d'apprentissage 179

2.2.1. Contenu pédagogique 179
2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH 180
2.3. Mesures 181
2.3.1. Mesures des variables contrôles 181
2.3.2. Qualité des dessins produits 182
2.3.3. Questionnaire d'apprentissage 183
2.3.4. Mesures auro-rapportées (post-test) 184
2.4. Procedure 185
3. Resultats 187
3.1. Variables controles 187
3.2. Qualite des dessins produits pendant l'apprentissage 188
3.3. Performances d'apprentissage 189
3.4. Mesures auto-rapportees 191
3.4.1. Intérêt situationnel et charge cognitive 191
3.4.2. Précision de l'auto-évaluation 192
3.4.3. Utilité perçue du dessin 192
4. Discussion 192
4.1. Interpretation des resultats 192
4.2. Limites et perspectives 196
5. Conclusion 197

CHAPITRE 7 : EFFETS DU TYPE D'ACTIVITE ET DES CAPACITES SPATIALES SUR L'APPRENTISSAGE ET LES PERCEPTIONS D'ETUDIANT·ES EN KINESITHERAPIE 200

1. Introduction 200
1.1. Contexte theorique 200
1.2. Objectifs et hypotheses 202

2. METHODE 203

2.1. PARTICIPANT·ES 203

2.2. MATERIEL D'APPRENTISSAGE 204

2.2.1. Contenu pédagogique 204

2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH 204

2.3. MESURES 205

2.3.1. Mesure de variables contrôles 205

2.3.2. Questionnaire d'apprentissage 205

2.3.3. Mesure de l'utilité perçue du dessin 206

2.4. PROCEDURE 206

3. RESULTATS 207

3.1. VARIABLES CONTROLES 208

3.2. QUALITE DES DESSINS PRODUITS PENDANT L'APPRENTISSAGE 209

3.3. PERFORMANCES D'APPRENTISSAGE 210

3.4. UTILITE PERÇUE DU DESSIN 212

4. DISCUSSION 213

4.1. EFFET DU TYPE D'ACTIVITE DE DESSIN SUR LES PERFORMANCES D'APPRENTISSAGE 213

4.2. ROLE DES CAPACITES SPATIALES DANS L'EFFICACITE DE LA STRATEGIE DE DESSIN 214

4.3. LIMITES ET PERSPECTIVES 215

5. CONCLUSION 216

DISCUSSION GENERALE 218

1. CONTRIBUTIONS EMPIRIQUES ET THEORIQUES 222

1.1. EFFETS DES STRATEGIES DE DESSIN SUR L'APPRENTISSAGE 222

1.2. INTERET ELEVE DES APPRENANT·ES POUR LA STRATEGIE DE DESSIN 226

2. IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES 227

3. LIMITES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE 229

3.1. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU CONTEXTE ECOLOGIQUE 229

3.2. LIMITES LIEES AUX EVALUATIONS 230

3.3. LIMITES LIEES AUX MODALITES DE DESSIN : RECOPIE ET DESSIN DE MEMOIRE 231

3.4. EFFETS DU CONTENU D'APPRENTISSAGE 233

3.5. PRISE EN COMPTE LIMITEE DES CARACTERISTIQUES INDIVIDUELLES DES APPRENANT·ES 234

3.6. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'INTEGRATION D'UN OUTIL NUMERIQUE LIE A UN PROJET 235

4. PERSPECTIVES : VERS L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR SOUTENIR L'APPRENTISSAGE PAR LE DESSIN 236

5. CONCLUSION 239

BIBLIOGRAPHIE 241

ANNEXES 257

A. Cours sur les ligaments longitudinaux du rachis 257

B. Cours sur l'anatomie de l'œil. 262

C. Cours sur le fonctionnement d'un néphron (unité fonctionnelle du rein) 265

D. Cours sur l'anatomie des os du carpe 269

E. Attestions de conformité à l'éthique de la recherche 274

F. Note d'information et formulaire de consentement 276

G. Mesures sociodémographiques 278

H. Questionnaire des variables contrôles 279

I. Questionnaire d'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie 280

J. Questionnaire d'intérêt situationnel 281

K. Questionnaire de charge cognitive perçue 282

L. Paper Folding Test : Test de capacités spatiales 283

M. Questionnaire de connaissances préalables (rachis) 286

N. Questionnaire de mémorisation et de compréhension (rachis) 288

O. Questionnaire de connaissances préalables (œil) 291

P. Test de connaissances visuospatiales et questionnaire d'apprentissage post-test (œil) 292

Q. Questionnaire d'apprentissage revue pour le cours sur l'œil en étude 3 295

R. Questionnaire de connaissances préalables (rein) 299

S. Test de connaissances visuospatiales (rein) 300

T. Questionnaire d'apprentissage (rein) 301

INDEX DES FIGURES 305

INDEX DES TABLEAUX 307

Introduction générale

La thèse présentée dans ce manuscrit a été réalisée dans le cadre du projet SKETCH financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR SKETCH n°-ANR-21-CE38-009-01). Celui-ci a été mené en collaboration entre 2021 et 2026 par une équipe du Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C) de l'Université de Rennes, une équipe informatique SHADOC de l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (IRISA) de Rennes, et deux instituts de formation en santé partenaires (IFPEK : Institut de Formation en Pédicurie-Podologie, Ergothérapie et Masso-Kinésithérapie de Rennes, et l'IFPS : Institut de Formation des Professionnels de Santé du centre hospitalier Guillaume Régnier de Rennes).

L'objectif du projet SKETCH (qui sera décrit en détail dans le Chapitre 1 partie 2) était de concevoir, dans une démarche collaborative, un outil pédagogique numérique centré sur l'apprentissage par le dessin dans un contexte d'acquisition des connaissances en anatomie. Il poursuivait deux objectifs principaux : 1) concevoir un système tutoriel intelligent (STI) capable d'analyser en temps réel les actions de l'apprenant·e lors de l'élaboration à main levée d'un croquis anatomique complexe sur tablette, et 2) évaluer et optimiser les effets des guidages et feedbacks fournis par ce système sur l'apprentissage. Pour atteindre ces objectifs, il s'est appuyé sur deux axes de recherche complémentaires : un axe informatique et un axe en psychologie cognitive et ergonomique.

L'axe informatique était consacré à la conception et au développement du système IntuiSKETCH. Il a consisté à élaborer un environnement numérique destiné à enrichir l'enseignement de l'anatomie en proposant un espace dédié à la production de dessins

d'apprentissage et en intégrant différents types de supports (visuels et/ou verbaux, démonstrations, feedbacks, aides contextuelles). Dans la phase initiale du projet, les contenus de cours et les supports étaient créés et sélectionnés par les enseignant·es, correspondant à une forme du tutorat statique. Dans une seconde phase, l'intégration de techniques d'intelligence artificielle (reconnaissance de formes, modélisation des connaissances) a permis de fournir des supports personnalisés en fonction des difficultés rencontrées par les apprenant·es (tutorat dynamique). La version utilisable en contexte réel d'apprentissage de cette fonctionnalité innovante n'a toutefois été disponible qu'à la fin du projet, ce qui n'a pas permis son utilisation dans le cadre de cette thèse.

L'axe en psychologie cognitive et ergonomique a été dédié à la conception, à l'expérimentation et à l'évaluation du dispositif. Il a permis d'examiner les effets du système sur les usages, les stratégies d'apprentissage et les performances des apprenant·es. Deux approches méthodologiques complémentaires ont été mobilisées : la démarche de conception centrée utilisateur·rices (CCU) et la méthodologie expérimentale. La conception centrée utilisateur·rices a permis d'impliquer les différents utilisateur·rices finaux (étudiant·es et formateur·rices) dans le développement du système, afin de garantir son adéquation à leurs besoins et de favoriser sa facilité d'utilisation. Parallèlement, la méthodologie expérimentale a été utilisée pour tester et valider de manière rigoureuse les fonctionnalités du système. Elle a notamment consisté à comparer les performances et l'engagement de groupes d'étudiant·es exposés au système, à ses différentes fonctionnalités, aux stratégies de dessin et aux supports fournis. Cette démarche expérimentale constitue le cœur de la thèse présentée dans ce manuscrit. Ainsi, cette dernière s'inscrit comme une étape essentielle du projet SKETCH, en contribuant à l'évaluation scientifique du dispositif. Elle vise à examiner la stratégie de dessin

dans le contexte spécifique de l'apprentissage de l'anatomie. Il s'agit de comprendre comment les apprenant·es mobilisent cette stratégie, quels processus cognitifs cette stratégie engage et comment elle s'intègre dans leurs pratiques d'étude. Dans cette perspective, la démarche expérimentale de cette thèse consiste à évaluer les effets du dessin sur plusieurs dimensions de l'apprentissage, notamment les performances, les processus métacognitifs et les perceptions des apprenant·es concernant la stratégie. Enfin, le travail de thèse cherche à identifier les conditions dans lesquelles le dessin constitue une stratégie particulièrement efficace pour soutenir l'apprentissage. Cela inclut l'étude de différents types de tâches de dessin, des supports fournis, ainsi que des caractéristiques individuelles susceptibles de moduler les effets du dessin.

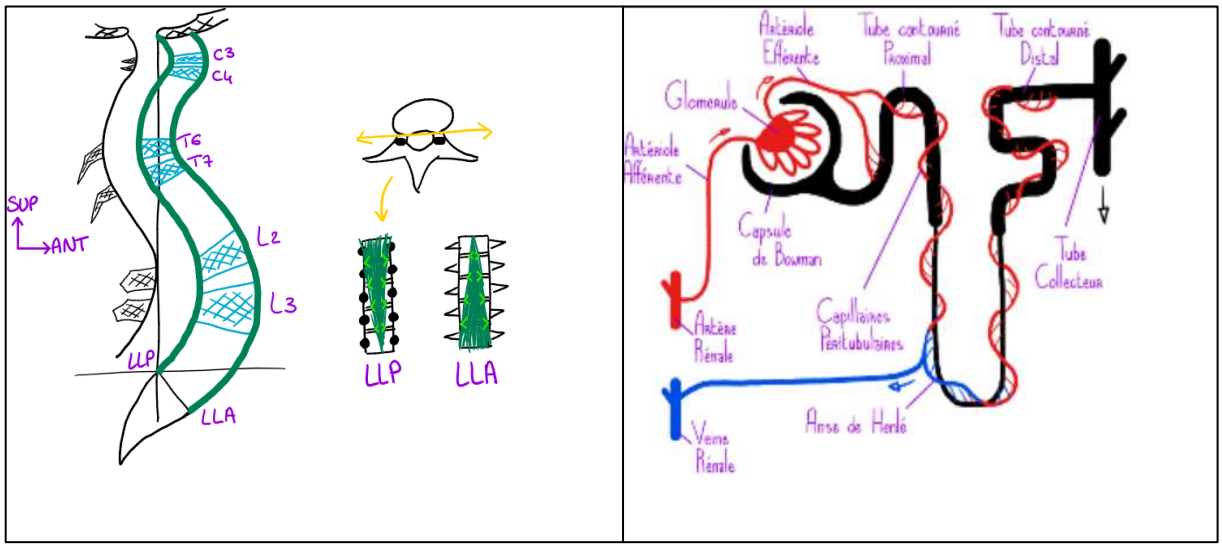
Le manuscrit s'organise en deux grandes parties : une première partie consacrée aux apports théoriques sur lesquels repose la thèse, et une seconde dédiée aux études expérimentales menées dans le cadre du projet. La première partie regroupe les trois premiers chapitres. **Le chapitre 1** présente le contexte général du projet SKETCH et les spécificités de l'enseignement de l'anatomie. Une première section expose les caractéristiques et les difficultés de cette discipline, ainsi que la place du dessin comme outil d'apprentissage potentiel pour la transmission et l'acquisition des connaissances en anatomie (voir Chapitre 1 partie 1). Une seconde section décrit plus en détail le projet SKETCH, en exposant ses objectifs et les modalités de mise en œuvre (voir Chapitre 1 partie 2). **Le chapitre 2** aborde les modèles théoriques de l'apprentissage à partir de documents multimédias. Il vise à mieux comprendre les processus cognitifs et métacognitifs impliqués dans l'apprentissage à partir de textes et d'illustrations (voir Chapitre 2 parties 1 et 2). Ce chapitre introduit également les modèles de l'apprentissage par génération, directement liés à la nature de la stratégie de dessin (voir

Chapitre 2 partie 3). **Le chapitre 3** est consacré à la stratégie d'apprentissage par le dessin telle qu'elle a été étudiée dans la littérature en psychologie cognitive. Il présente les principaux modèles théoriques qui la sous-tendent, ainsi que les résultats empiriques issus des recherches existantes, afin de mettre en évidence les effets du dessin sur l'apprentissage (voir Chapitre 3 parties 1, 2 et 3). Il présente également les facteurs modérateurs de la stratégie ainsi que les niveaux de guidage et supports susceptibles de la soutenir (voir Chapitre 3 parties 4, 5 et 6). La seconde partie regroupe les chapitres 4 à 7 consacrés aux études expérimentales menées dans le cadre de cette thèse. Les travaux menés visent à répondre aux objectifs centraux de celle-ci. L'enchainement des études suit une progression logique, allant de l'analyse des effets de la génération de dessin, à l'analyse de différents types de stratégies de dessin, et des variables influençant leur efficacité.

Le dessin constitue l'objet d'étude principale de cette thèse. Le terme *dessin*, tel qu'il est employé dans ce manuscrit, ne renvoie ni à une simple illustration ni à une activité artistique, mais à une stratégie active d'apprentissage. Il s'agit d'une activité qui engage l'apprenant·e comme acteur·rice de son propre apprentissage, en l'amenant à générer une représentation visuelle cohérente du concept ou du phénomène étudié. Le dessin peut prendre différentes formes (schémas, croquis, représentations descriptives ou explicatives) qui varient selon la nature de contenu et des objectifs d'apprentissage. Par exemple en Figure 1, un schéma explicatif peut servir à représenter le fonctionnement de la circulation sanguine ou le mécanisme de filtration du rein en mettant en évidence les relations dynamiques entre les structures anatomiques. Tandis qu'un croquis descriptif peut consister à représenter le positionnement des vertèbres et des ligaments du rachis (voir Figure 1) en se focalisant sur la forme, la disposition et les caractéristiques des structures. Ces différents types de dessins

mobilisent néanmoins un dénominateur commun : ils reposent tous sur un traitement cognitif et sur l'engagement de processus génératifs. Dans ce manuscrit, le terme *illustration* sera utilisé pour désigner les dessins, schémas ou images non produit·es par l'apprenant·e.

Figure 1.
Exemple de représentations de schéma anatomique (rachis à gauche) et physiologique (rein à droite).



PARTIE I – Cadre théorique

Chapitre 1 : Contextes liés à la thèse

La thèse réalisée et décrite dans ce manuscrit s'ancre dans le contexte d'enseignement de l'anatomie, une matière fondamentale dans la formation des professionnel·les de santé. Ce premier chapitre vise à situer la thèse dans son contexte de formation en anatomie, en mettant en évidence les enjeux pédagogiques propres à cette discipline. Il présentera ensuite, dans une seconde partie, le projet de recherche dans lequel s'inscrit la thèse.

1. Enseignement du corps humain

1.1. Définition des disciplines d'anatomie et de physiologie

L'anatomie peut être définie comme la science qui étudie la structure et l'organisation des organismes vivants (Chevallier, 2016; Drake et al., 2025; Dufour, 2023). Du point de vue médical, elle constitue la discipline fondamentale qui examine la morphologie externe et interne du corps humain, ainsi que les relations spatiales entre ses différentes parties. Autrement dit, l'anatomie correspond à l'étude de la structure du corps, de ses parties, et des relations qu'elles ont les unes avec les autres. À ses débuts, l'anatomie était essentiellement descriptive, répondant avant tout à une curiosité humaine quant à la constitution du corps humain. Les prémices de cette discipline remontent aux travaux d'André Vésale (De humani corporis fabrica, 1543) et aux observations anatomiques et artistiques de Leonardo Da Vinci (Borrelli et al., 2018). Progressivement, elle est devenue indispensable à la compréhension du fonctionnement des organes qu'elle décrit, ouvrant ainsi la voie au développement de la

physiologie et à l'articulation entre savoirs descriptifs et savoirs fonctionnels. En effet, la physiologie étudie le fonctionnement du corps et de ses parties, c'est-à-dire de la façon dont celles-ci jouent leur rôle et permettent le maintien de la vie (Bonfils & Chevallier, 2017; Chevallier, 2016).

Basé sur cette définition, le terme *anatomie* sera utilisé dans cette thèse de façon générique pour désigner à la fois l'anatomie descriptive et la physiologie, ces deux domaines constituant des formes complémentaires de connaissances sur le corps humain. Il sera précisé, lorsque ce sera pertinent, si les contenus pédagogiques construits dans les expérimentations relèvent exclusivement d'une composante descriptive ou s'ils intègrent également des notions physiologiques. Les dessins d'anatomie descriptive représentent donc les structures anatomiques avec précision et sont construits de manière proportionnelle ; alors que les dessins présentant de la physiologie ajoutent des explications concernant le fonctionnement de la structure. Par exemple, un dessin anatomique du rachis doit représenter avec une grande précision la forme, la position et les proportions de chaque élément : vertèbres, disques intervertébraux, processus épineux ou encore ligament. Pour donner un exemple dans la Figure 1, le rachis représenté à gauche présente des vertèbres et des disques intervertébraux dont la hauteur et la profondeur sont plus importantes au niveau lombaire qu'au niveau cervical (voir Annexe A pour consulter le dessin anatomique complet). L'objectif du dessin anatomique est donc de restituer fidèlement la structure réelle afin de permettre l'identification précise de chaque composant et de leurs relations spatiales. Tandis que, pour la physiologie, le dessin repose davantage sur une représentation schématique. Par exemple, pour expliquer le fonctionnement d'un néphron (unité fonctionnelle du rein), le dessin peut être simplifié car la compréhension du processus dépend surtout de la manière dont sont

indiquées les interactions dynamiques entre les éléments. Par exemple, dans la Figure 1, en suivant le sens des flèches sur le schéma de droite. La compréhension dépend aussi fortement du texte explicatif qui accompagne le dessin (voir Annexe C pour consulter le texte explicatif du dessin complet).

1.1.1. Définition de l'anatomie en tant que discipline

L'apprentissage du corps humain est fondamental dans les formations médicales et paramédicales. Cette discipline exige une connaissance et une maitrise des structures anatomiques, de leurs fonctions et des relations qu'elles entretiennent. Ces connaissances sont indispensables pour comprendre le fonctionnement global du corps humain, ainsi que les pathologies que les apprenant·es seront amené·es à diagnostiquer et traiter dans leur future pratique (Drake et al., 2025). Autrement dit, cette discipline sert de socle à la compréhension des fonctions physiologiques, des mécanismes pathologiques et des gestes médicaux et chirurgicaux. Les objectifs sont pluriels : acquisition des repères anatomiques, compréhension des relations spatiales, préparation à l'interprétation de l'imagerie médicale, et formation à la rigueur scientifique et au raisonnement médical.

Traditionnellement, l'enseignement des connaissances anatomiques repose sur des méthodes classiques telles que les cours magistraux et les séances de dissection (Alsaid & Bertrand, 2016; Backhouse et al., 2017; Kotzé et al., 2012; Kumar & Rajprasath, 2019). Ces approches ont longtemps constitué les principaux outils de transmission des connaissances concernant le corps humain. Cependant, elles comportent des limites. Les cours magistraux favoriseraient une écoute passive qui n'engagerait pas suffisamment les étudiant·es dans leur apprentissage, ce qui peut en compromettre l'efficacité (Backhouse et al., 2017; Kumar &

Rajprasath, 2019). Quant aux séances de dissection, bien qu'elles permettent une exploration concrète et approfondie des structures anatomiques, elles soulèvent des enjeux éthiques et financiers qui ont conduit à une diminution progressive de leur utilisation (Delmas, 2024).

Par ailleurs, les réformes successives des programmes d'enseignements ont entrainé une réduction significative du volume horaire consacré à l'anatomie. Comme l'a souligné Chevalier (2016), cette réduction a parfois été si marquée qu'elle a pu faire craindre une perte de connaissances fondamentales, en particulier chez les futur·es chirurgien·nes. Aujourd'hui, l'enseignement de l'anatomie fait face à un défi majeur : transmettre un socle de savoirs essentiels à la pratique médicale dans un temps limité.

Face à ces contraintes, l'émergence de nouvelles stratégies pédagogiques actives et l'intégration des technologies numériques offrent des perspectives prometteuses. De nombreuses études soulignent la nécessité d'adopter des approches plus engageantes, telles que l'apprentissage par le dessin, qui répondent aux spécificités de la discipline (Alsaid, 2016; Alsaid & Bertrand, 2016; Backhouse et al., 2017; Borrelli et al., 2018; Styn et al., 2023). En effet, l'anatomie requiert non seulement l'acquisition des connaissances théoriques, mais aussi le développement de connaissances spatiales et visuelles indispensables à la compréhension et à la pratique médicale.

1.1.2. L'activité de dessin comme outil d'apprentissage de l'anatomie

Le dessin d'anatomie constitue depuis longtemps un support central pour la transmission et l'acquisition des connaissances anatomiques. Les dessin sont utilisés depuis des siècles pour représenter les structures du corps humain et restent aujourd'hui un outil

incontournable dans les formations médicales et paramédicales (Dufour, 2023). Les dessins et illustrations anatomiques permettent aux étudiant·es de visualiser les différentes structures, d'en comprendre l'organisation spatiale ainsi que leurs relations. Dans ce cadre, les supports visuels dessinés peuvent prendre différentes formes. Ils sont souvent présentés par les enseignant·es sous la forme de croquis explicatifs, souvent dessinés ou projetés au tableau, mais les étudiant·es peuvent aussi être amené·es à réaliser leur propre dessin pour résumer et/ou prendre en notes les notions étudiées (Chaudhuri, 2021). Ainsi le dessin est non seulement un moyen de communication et de transmission du savoir, mais également une stratégie d'apprentissage. Dans le contexte spécifique de l'anatomie, le dessin apparait ainsi comme un outil pédagogique particulièrement adapté.

Plusieurs recherches ont examiné plus précisément les effets de l'activité de dessin lorsqu'elle est intégrée dans l'enseignement de l'anatomie (Alsaid, 2016; Alsaid & Bertrand, 2016; Backhouse et al., 2017; Borrelli et al., 2018; Chaudhuri, 2021; Gheysens et al., 2017; Joewono et al., 2018; Kotzé et al., 2012; Mathon et al., 2021; Narayanan & Shankar, 2021; Naug et al., 2011, 2016; Styn et al., 2023). Certaines études associent le dessin à des méthodes pratiques telles que la dissection (Borrelli et al., 2018; Kotzé et al., 2012). Ces deux approches étant considérées comme complémentaires. La dissection permettrait une expérience directe et sensorielle des structures, alors que le dessin favoriserait leur représentation et leur organisation mentale (Alsaid & Bertrand, 2016; Borrelli et al., 2018; Chaudhuri, 2021).

Parmi les méthodes centrées sur la génération de dessins, la technique la plus souvent citée est celle de la « page blanche », étudiée par Naug, Colson et Donner (2011, 2016). Dans cette approche, les étudiant·es étaient placé·es dans une salle sans accès à leurs notes ni aux manuels d'anatomie. Iels devaient alors, pendant quinze minutes, produire des

représentations des structures anatomiques, soit en dessinant sur tableau blanc, soit en modelant avec de la pâte à modeler. Cette activité, réalisée individuellement ou en groupe, reposait uniquement sur leurs connaissances et leurs échanges, et visait à stimuler la métacognition en les amenant à reconstruire activement le savoir.

D'autres travaux, comme ceux de Borrelli et al. (2018) ont proposé d'enseigner une démarche de dessin anatomique en donnant des lignes directrices aux étudiant·es pour l'élaboration de leurs croquis. Les étudiant·es étaient invité·es à commencer par tracer les contours des structures, puis à placer successivement les couches anatomiques (muscles, veines, nerfs, etc.), en utilisant un code couleur standard (par exemple, les artères en rouges, les veines en bleu, les nerfs en vert). Il était conseillé aux étudiant·es de ne pas être trop exigeant·es avec leur croquis anatomique. L'objectif n'était pas de produire un dessin fidèle sur le plan esthétique, mais de représenter de manière précise l'organisation et les relations entre les composantes, dans un but de compréhension et d'apprentissage. Chaudhuri (2021) a également repris cette méthode d'enseignement du croquis d'anatomie dans son étude.

Un autre exemple est celui de Gheysens et al. (2017) qui ont conçu un module destiné à compléter l'enseignement traditionnel de la neuroanatomie. Ce module portait spécifiquement sur l'anatomie de la moelle épinière et la localisation des lésions. Les notions étaient présentées progressivement, et à chaque étape, les étudiant·es étaient invité·es à produire leurs propres dessins afin de représenter visuellement ce qu'iels venaient d'apprendre.

De manière générale, les méthodologies employées pour intégrer le dessin dans l'enseignement de l'anatomie apparaissent très variées, en partie parce qu'elles dépendent fortement du contexte écologique des expérimentations menées en salle de classe. Les études

ont majoritairement été menées auprès d'étudiant·es en première ou deuxième année de médecine (Alsaid, 2016; Alsaid & Bertrand, 2016; Azer, 2011; Borrelli et al., 2018; Gheysens et al., 2017; Joewono et al., 2018; Mathon et al., 2021; Narayanan & Shankar, 2021; Naug et al., 2011, 2016; Noorafshan et al., 2014; Reid et al., 2019). Et quelques recherches ont ciblé des étudiant·es en dentaire (Borrelli et al., 2018; Fy, 2017; Naug et al., 2011, 2016), en études vétérinaires (Laakkonen, 2021) ou encore en ergothérapie (Chaudhuri, 2021).

Les notions de cours étudiées dans ces travaux sont également variées : certaines études se sont concentrées sur l'anatomie cardiaque (Narayanan & Shankar, 2021; Noorafshan et al., 2014) d'autres sur le module gastro-intestinal (Azer, 2011), les muscles des expressions faciales (Alsaid & Bertrand, 2016), les sections cérébrales et l'imagerie du cerveau (Alsaid, 2016; Mathon et al., 2021), l'anatomie de la moelle épinière (Gheysens et al., 2017), le système musculo-squelettique (Joewono et al., 2018), ou encore les membres inférieurs et supérieurs, le thorax, la tête et le cou (Borrelli et al., 2018).

1.2. Effets de l'activité de dessin sur les performances d'apprentissage

L'activité de dessin a donc été intégrée dans les programmes d'enseignements de l'anatomie, selon des méthodologies très diverses. Si cette variété de méthodes témoigne de l'intérêt du dessin, elle soulève tout de même plusieurs limites quant à l'interprétation des résultats rapportés. En effet, bien que l'introduction du dessin vise à étudier ses effets sur l'apprentissage, peu de travaux ont réellement évalué l'efficacité de cette activité en termes de performances. Dans sa revue critique, Peart (2022) souligne la présence de nombreux biais méthodologiques. Tout d'abord, les études mobilisent des méthodologies très variées, ce qui ne permet pas de garantir que tous·tes aient réalisé des dessins dans des conditions

comparables et contrôlées. De plus, les modalités précises de réalisation des dessins ne sont pas toujours explicitées : selon les cas, les étudiant·es pouvaient dessiner individuellement ou en groupe, en classe ou en dehors, de mémoire, à partir d'une observation directe, ou encore dans le cadre d'une tâche de recopie. Une autre limite réside dans l'absence fréquente de groupes contrôles et dans l'utilisation de mesures d'apprentissage peu fiables. Beaucoup d'études se contentent d'examiner la réussite aux examens de fin de semestre, sans cibler directement l'effet du dessin sur la mémorisation ou la compréhension d'un concept précis. Cette approche rend difficile l'identification d'un impact spécifique du dessin sur l'apprentissage. Enfin, aucune étude n'a réellement évalué la qualité des dessins produits par les étudiant·es, ni mis ces productions en relations avec les connaissances effectivement acquises. Or, cela pourrait permettre de mieux comprendre le rôle du dessin comme stratégie pédagogique.

1.3. Perceptions des étudiant·es concernant l'activité de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie

Comme nous venons de le voir dans la section précédente, la grande majorité des travaux menés dans le domaine de l'éducation en anatomie sur l'activité de dessins présentent des biais méthodologiques importants, ce qui limite la portée des résultats et empêche de conclure quant à leurs effets sur l'apprentissage. En revanche, un élément récurrent et particulièrement intéressant ressort de ces études : les étudiant·es perçoivent le dessin comme une activité utile pour l'apprentissage des notions anatomiques. Les enquêtes menées sur les perceptions des étudiant·es vis-à-vis de l'activité de dessin en anatomie montrent que globalement, iels apprécient cette activité. Plusieurs travaux relèvent des taux de satisfaction

élevés (Alsaid & Bertrand, 2016; Borrelli et al., 2018; Gheysens et al., 2017; Mathon et al., 2021). Par exemple, Borrelli et al. (2018) rapportent une note moyenne de satisfaction de 9.12/10. Selon les étudiant·es, le dessin favoriserait une meilleure compréhension des structures anatomiques et de leurs relations (Azer, 2011; Fy, 2017; Narayanan & Shankar, 2021), et aiderait à visualiser plus clairement les concepts étudiés et faciliterait leur assimilation (Borrelli et al., 2018; Noorafshan et al., 2014). L'étude de Fy (2017), menée auprès de 79 étudiant·es en odontologie, a montré que celleux-ci considéraient la génération de dessin comme un véritable soutien à l'apprentissage, permettant d'approfondir leur compréhension. De plus, l'activité de dessin est perçue comme rendant les cours plus attractifs et moins monotones (Borrelli et al., 2018; Naug et al., 2011; Noorafshan et al., 2014). Noorafshan et al. (2014) ont par exemple mis en place des séances où les étudiant·es dessinaient progressivement les croquis projetés par l'enseignant·e, constituant ainsi un portfolio tout au long du semestre. Les résultats montrent que 80% des étudiant·es ont jugé cette méthode efficace pour comprendre plus facilement les concepts et qu'elle rendait l'apprentissage plus agréable, tout en réduisant le temps d'étude perçu.

Néanmoins, quelques limites sont rapportées. Dans l'étude de Mathon et al. (2021), si 82.5% des étudiant·es se déclaraient satisfait·es d'un enseignement de l'imagerie cérébrale basé sur le dessin, une minorité percevait cette activité comme une charge supplémentaire sans effet direct sur leur apprentissage. De même, Narayanan et Shankar (2021) ont observé que les étudiant·es obtenaient de meilleures performances lorsqu'iels complétaient des illustrations fournies plutôt que lorsqu'iels généraient leurs propres dessins. Dans cette étude, 87.8% des participant·es déclaraient préférer travailler à partir de supports préexistants, jugés plus utiles et plus pratiques pour la prise de notes.

1.4. Lien entre l'enseignement de l'anatomie, l'activité de dessin et le projet SKETCH

Pour résumer, si des travaux dans le domaine de l'éducation en anatomie ont évalué les effets de l'activité de sur l'apprentissage, beaucoup présentent des biais méthodologiques importants et peu d'études permettent de tirer des conclusions solides concernant l'efficacité de cette stratégie sur les performances des étudiant·es en sciences médicales et paramédicales (Peart, 2022). Ces recherches apportent néanmoins des éclairages utiles quant à l'intégration du dessin dans les programmes de formation. Elles montrent notamment que cette activité est, dans l'ensemble, bien accueillie par les étudiant·es, qui la perçoivent comme un soutien à la compréhension et à la représentation visuelle de l'anatomie humaine (Fy, 2017; Noorafshan et al., 2014). Plusieurs études soulignent également que le dessin rend l'apprentissage plus attrayant, avec le souhait chez les étudiant·es de voir cette pratique intégrée durablement aux cours (Alsaid & Bertrand, 2016; Borrelli et al., 2018; Gheysens et al., 2017).

Pour la suite, il apparait nécessaire de mener de nouvelles études reposant sur des méthodologies plus rigoureuses et systématiquement contrôlées. Il sera également particulièrement important de mettre en lien les travaux menés en anatomie avec ceux issus de la psychologie cognitive et des sciences des apprentissages, afin d'apporter un cadre théorique plus solide et d'améliorer la fiabilité des résultats. Enfin, ces apports constituent des fondations essentielles pour la thèse présentée dans ce manuscrit. Non seulement ils orientent sa problématique, mais ils justifient également l'attention portée à l'évaluation des perceptions étudiant·es vis-à-vis de l'activité de dessin.

Dans la continuité de ces premiers constats, le projet SKETCH s'inscrit logiquement dans une perspective d'amélioration de l'enseignement de l'anatomie par l'apprentissage actif et l'usage d'outil numérique. Ce projet vise à comprendre comment les outils numériques et les principes issus de la psychologie cognitive peuvent être mobilisés conjointement pour soutenir l'acquisition des connaissances anatomiques. La partie suivante présentera ainsi le contexte du projet SKETCH et les différents axes de recherche qui le structurent.

2. Le projet SKETCH

La présente thèse a été réalisée dans le cadre du projet SKETCH financé par l'ANR (N°-ANR-21-CE38-009-01) et mené entre 2021 et 2026. L'objectif principal du projet SKETCH était de concevoir, dans une démarche collaborative, un système tutoriel intelligent spécifiquement orienté vers l'apprentissage par le dessin et l'apprentissage de l'anatomie. L'originalité de ce système réside dans sa capacité à analyser en temps réel, et de manière incrémentale, les actions de l'apprenant·e lorsqu'iel produit un dessin d'anatomie complexe à main levée. Ainsi, le système ne se limite pas à l'évaluation d'un dessin finalisé. Il suit son évolution, sa construction, ce qui lui permet de fournir des retours adaptés et personnalisés aux apprenant·es qui dessinent dans un objectif d'apprentissage. Un second objectif du projet consistait à évaluer l'impact pédagogique du système. Il s'agissait donc non seulement de développer un outil, mais aussi d'en optimiser les effets sur l'apprentissage, en identifiant quels types de soutien sont réellement bénéfiques pour les apprenant·es. Cet objectif est au centre des travaux menés dans cette thèse.

2.1. Conception collaborative et centrée utilisateurs·rices

Le projet SKETCH a été mené en collaboration avec deux laboratoires de recherche, l'équipe de l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (IRISA) de Rennes, et le laboratoire de Psychologie de l'Université Rennes 2 (LP3C). Deux instituts de formation en santé ont été impliqués au projet : l'Institut de Formation des Professionnels de Santé (IFPS) du centre hospitalier Guillaume Regnier de Rennes et l'Institut de Formation en Pédicurie-Podologie, Ergothérapie et Masso-Kinésithérapie (IFPEK) de Rennes. Ce partenariat a rendu possible la mobilisation de formateur·rices et d'étudiant·es, qui ont été directement impliqué·es durant toute la période du projet. En effet, ces instituts ont été impliqués afin de construire un environnement d'apprentissage approprié à la formation en santé. Les contenus d'apprentissage ont été élaborés en collaboration avec ces formateur·rices de manière à répondre à la fois à leurs attentes mais aussi aux besoins identifiés chez les étudiant·es. La construction de ces contenus sera présentée en partie 2 du Préambule. Les expérimentations menées dans le cadre de cette thèse ont été intégrées aux cours d'enseignements de chaque institut, de manière à garantir des conditions d'étude aussi proches que possibles de la réalité pédagogique (contexte écologique).

Tout au long du projet, une démarche de conceptive itérative, centrée sur les utilisateur·rices, a été mise en œuvre, impliquant à la fois les formateur·rices et les étudiant·es. À chaque étape, les résultats obtenus ont permis de dégager des recommandations ergonomiques visant à améliorer le système IntuiSKETCH. Cette démarche de conception consiste à prendre en compte les utilisateur·rices tout au long du processus de développement

d'un produit innovant (norme ISO 9241-210[1]). Elle a été accompagnée par des ingénieures ergonomes du laboratoire LP3C et s'est articulée en étroite collaboration avec l'équipe informatique. Ce travail, bien que n'étant pas l'objectif principal de la thèse, a joué un rôle central dans l'évolution du système IntuiSKETCH. En effet, les analyses menées ont permis d'orienter les choix de conception de l'interface, dont une description sera réalisée en partie 1 du Préambule des chapitres expérimentaux. Par ailleurs, les ajustements successifs et l'évolution de l'interface au fil du projet ont constamment été appuyés par ces contributions ergonomiques, garantissant ainsi une meilleure adéquation du système aux besoins réels des utilisateur·rices.

2.2. Axes de recherche du projet

Le projet SKETCH s'est articulé autour de plusieurs axes de recherches complémentaires. Un axe a été assuré par la laboratoire informatique, l'autre par le laboratoire de psychologie. L'axe informatique portait sur la conception du système tutoriel intelligent IntuiSKETCH destiné à l'interprétation de croquis anatomiques manuscrits. Ce travail a fait l'objet d'une thèse en informatique et était organisé en plusieurs étapes :

- **L'extraction et la modélisation des connaissances :** afin de permettre l'analyse des croquis produits par les étudiant·es, il a d'abord été nécessaire d'extraire les connaissances à partir de chaque croquis de référence réalisé par un·e enseignant·e sur l'interface du projet (en mode auteur). Cette étape a permis de modéliser

[1] DIS, I. (2010). 9241-210: 2010. Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems (formerly known as 13407). International Standardization Organization (ISO). Switzerland.

explicitement des règles de composition de chaque croquis anatomique ainsi que leur structure, à travers différentes couches (structurelle, sémantique, chronologique, etc.).

- **L'interprétation en temps réel des croquis des étudiant·es :** à partir des règles extraites lors de la phase précédente, un module d'analyse devait être capable d'interpréter, en temps réel, les tracés produits par les étudiant·es. L'objectif était de suivre le processus de composition du dessin, en identifiant la forme, la position, et les proportions relatives des différents sous-éléments qui compose chaque croquis anatomique.
- **Génération de feedbacks et d'aides contextuelles :** l'interprétation en temps réel doit permettre au tuteur intelligent de détecter automatiquement certaines erreurs (éléments manquants, placement incorrect, proportions inexactes, etc.) et de produire des feedbacks adaptés, destinés à guider l'apprenant·e dans l'amélioration de son croquis anatomique.

Toutefois, la reconnaissance intelligente, incluant l'interprétation automatique des dessins et la génération de feedbacks, n'a pas pu être utilisé dans les expérimentations de cette thèse. Le travail sur la partie intelligence artificielle ayant été implémenté tardivement dans le projet. La version du logiciel utilisé dans le cadre de ce manuscrit ne comporte donc pas de composante IA. Elle intègre toutefois des fonctionnalités permettant d'accompagner les apprenant·es dans l'apprentissage des contenus anatomiques et dans la mise en œuvre de la stratégie de dessin. Le logiciel est présenté en partie 1 du Préambule.

Le second axe de recherche, mené par le laboratoire de psychologie, comportait l'évaluation et l'optimisation des effets de la stratégie de dessin et des guidages proposés par le dispositif sur l'apprentissage. Cet axe fait l'objet de cette thèse. Les fondements théoriques,

les objectifs de recherche et les expérimentations menées dans cet axe seront explicités et détaillés dans les chapitres suivants.

3. Conclusion du chapitre 1

Ce premier chapitre a permis de mettre en contexte le travail de thèse présenté dans ce manuscrit. D'une part, les enjeux propres à l'apprentissage de l'anatomie marqué par la complexité des relations spatiales, d'autres part, le cadre du projet SKETCH qui vise à enrichir l'environnement d'apprentissage par l'utilisation d'outil numérique. L'articulation entre ces deux dimensions met en évidence les défis spécifiques auxquels sont confronté·es les enseignant·es et les étudiant·es des formations en santé, ainsi que le potentiel de l'activité de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie. Les prochains chapitres présentent les modèles théoriques de l'apprentissage et les recherches sur la stratégie d'apprentissage par le dessin. Ils poseront les apports théoriques nécessaires à la compréhension des questionnements et des hypothèses de cette thèse.

Chapitre 2 : Apprentissage multimédia et apprentissage génératif

Le chapitre précédent a souligné l'importance des représentations spatiales dans l'acquisition des connaissances anatomiques. Toutefois, pour comprendre pleinement ces représentations, des explications verbales sont nécessaires, notamment pour saisir le fonctionnement des structures et les relations qu'elles entretiennent entre elles. Dans ce chapitre, les modèles théoriques de l'apprentissage à partir de textes et d'illustrations sont donc présentés. Ils permettent de mieux cerner les mécanismes cognitifs impliqués dans l'apprentissage multimédia, et constituent une base essentielle à l'étude de l'activité générative de dessin qui est l'objet central de cette thèse.

1. Apprentissage à partir de textes illustrés

1.1. Définitions et fonctions pédagogiques des illustrations

L'apprentissage à partir de textes illustrés est très largement répandu dans les supports pédagogiques. Plusieurs synthèses de la littérature ont montré que la combinaison de textes et d'illustrations peut favoriser un apprentissage plus efficace que le texte seul, à condition que les deux sources soient pertinentes et complémentaires (Carney & Levin, 2002; Mayer, 2009). Selon ces synthèses, le texte permet généralement de structurer le raisonnement et d'expliquer les relations causales ou fonctionnelles, tandis que l'illustration contribue à soutenir l'élaboration de représentations mentales en rendant le contenu plus concret et plus

accessible. Une méta-analyse récente de Lei et al. (2025) confirme que l'ajout d'illustrations aux textes scientifiques améliore significativement l'apprentissage des apprenant·es en sciences. Autrement dit, les apprenant·es bénéficiant de textes accompagnés d'illustrations apprennent mieux que celleux confronté·es à des textes seuls. Toutefois, cet effet dépend de plusieurs facteurs modérateurs tels que le contexte socio-culturel (revenu national, culture, âge ou niveau scolaire), les caractéristiques de l'illustration (rôle, forme, couleur), les propriétés du texte (structure, complexité) et le type d'évaluation (compréhension, transfert ou rappel). Les résultats de cette méta-analyse montrent donc que l'efficacité pédagogique des illustrations ne repose pas uniquement sur leur présence, mais sur la qualité de leur intégration au texte et sur leur adéquation aux processus cognitifs et au caractéristiques des apprenant·es.

Afin de mieux comprendre les variations observées dans l'efficacité des illustrations, il convient de s'intéresser aux différents types d'illustrations existantes et d'examiner plus précisément lesquels sont les plus susceptibles de soutenir l'apprentissage. Carney et Levin (2002) ont proposé une classification des types d'illustrations. Cette classification distingue cinq types selon leur fonction pédagogique : décoratives, représentationnelles, organisationnelles, interprétationnelles, et transformationnelles. La première catégorie correspond aux **illustrations décoratives**, qui ont une fonction essentiellement esthétique. Bien qu'elles puissent rendre le texte attrayant, ces illustrations n'apportent pas de valeur pédagogique et peuvent détourner l'attention de l'apprenant·e, ce qui peut nuire à la compréhension. A l'inverse, les quatre autres types d'illustrations visent à faciliter l'apprentissage. **Les illustrations représentationnelles** traduisent visuellement une partie ou la totalité du contenu présent dans le texte, aidant ainsi l'apprenant·e à construire une représentation mentale

correcte. Selon Carney et Levin (2002), ce type d'illustration apporte des bénéfices modérés sur la compréhension, à condition d'être pertinent et correctement intégré au texte. **Les illustrations organisationnelles** permettent de structurer l'information, en montrant les relations logiques, hiérarchiques et/ou temporelles entre les éléments. Par exemple, en représentant les étapes d'un processus. Elles facilitent l'intégration des idées, et peuvent soutenir efficacement la compréhension en allégeant la charge cognitive liées à l'organisation du contenu. **Les illustrations interprétationnelles** ont pour fonction de rendre accessibles des contenus complexes ou abstraits, en les représentant visuellement à travers des analogies concrètes. Elles permettent de visualiser un mécanisme difficile à appréhender uniquement par le texte. Par exemple, le fonctionnement du cœur peut être représenté par une image le comparant à une pompe mécanique, ce qui peut aider l'apprenant·e à comprendre les notions de circulation sanguine en s'appuyant sur une représentation familière. Enfin, **les illustrations transformationnelles**, visent à faciliter la mémorisation en transformant une information verbale en une image mentale fortement évocatrice. Elles consistent à recoder des concepts ou des mots en éléments visuels symboliques, faciles à associer, à retenir et à rappeler. Il s'agit par exemple d'illustrer le nom d'un muscle ou d'un os par une illustration dont la forme ou le contenu évoque visuellement le terme.

1.2. Difficultés de traitement des illustrations

Bien que certains types d'illustrations puissent renforcer la compréhension et la mémorisation, plusieurs études ont mis en évidences des difficultés dans leur traitement, qui peuvent en limiter les bénéfices pédagogiques. Ces difficultés renvoient à des obstacles cognitifs, motivationnels ou liés aux caractéristiques individuelles des apprenant·es.

Une première difficulté est liée au **traitement superficiel** que les apprenant·es peuvent accorder aux illustrations. Il est fréquent que les illustrations soient perçues comme secondaires ou décoratives, et donc traitée de manière passive (Renkl & Scheiter, 2017). Les apprenant·es ne les intègrent pas réellement avec le texte pendant l'apprentissage. Ce phénomène est renforcé par ce que Scheiter et al. (2017) décrivent comme un biais de traitement en faveur du texte, où l'attention se porte préférentiellement sur l'information verbale et textuelle, au détriment de l'information visuelle (Renkl & Scheiter, 2017). Ce déséquilibre empêche la construction d'un modèle mental complet et cohérent.

La présence d'illustrations peut également induire une fausse impression de compréhension, communément appelée **illusion de compréhension**. Comme le souligne Eitel (2016), les apprenant·es peuvent croire qu'iels ont bien compris le contenu simplement parce qu'une illustration est présente, sans l'avoir réellement traitée en profondeur. En conséquence, l'illusion de compréhension peut conduire à une réduction de l'effort cognitif engagé, et ainsi nuire à l'apprentissage.

Par ailleurs, la compréhension correcte d'une illustration nécessite souvent des connaissances préalables dans le domaine concerné ainsi que des capacités visuospatiales suffisantes. **Ce manque de prérequis cognitifs** complique le traitement des illustrations et peut aboutir à des erreurs d'interprétation, voir un rejet de l'illustration comme source d'information (Renkl & Scheiter, 2017).

Une autre difficulté est liée à la manière dont l'attention est distribuée lors de la lecture d'un document multimédia. Les apprenant·es peuvent être attiré·es par des éléments saillants mais non pertinents, qui sont des détails esthétiques. Ces **biais attentionnels** les détournent des éléments pertinents de l'illustration, réduisant l'efficacité du traitement de celle-ci et la qualité

de l'intégration texte-illustration. Scheiter et al. (2017) ont mené·es des études en oculométrie (avec méthode eye-tracking) et ont confirmés que les stratégies d'exploration visuelle spontanées sont souvent inefficaces, surtout chez les apprenant·es novices.

Enfin, une difficulté importante réside dans la capacité des apprenant·es à relier le texte et l'image. Pour comprendre un document multimédia, il est nécessaire de réussir à faire des liens entre les deux types d'informations, à les garder temporairement en mémoire, puis à les combiner pour une compréhension globale. Lorsque ce travail d'intégration n'est pas facilité, les apprenant·es ont tendance à traiter le texte et l'illustration séparément, ce qui rend la compréhension plus difficile.

Ces différentes difficultés montrent que les apprenant·es ne profitent pas systématiquement de la présence d'illustrations, même lorsqu'elles sont bien conçues. Le traitement efficace des documents illustrés dépend non seulement des caractéristiques individuelles des apprenant·es, mais aussi de la manière dont les supports sont conçus. Une conception pédagogique soignée peut réduire les risques d'une mauvaise interprétation, guider l'attention, faciliter l'intégration entre les deux types de sources d'informations, et ainsi optimiser les capacités cognitives disponibles. Autrement dit, la qualité de la conception pédagogique joue un rôle déterminant dans l'exploitation du potentiel des illustrations pour soutenir un apprentissage en profondeur.

Afin de mieux comprendre l'implication des illustrations présentes dans les contenus pédagogiques, ainsi que les traitements cognitifs mobilisés lors de l'apprentissage à partir de textes illustrés, plusieurs modèles théoriques ont été proposés dans la littérature scientifique, tels que le modèle intégratif des textes illustrés (Schnotz, 2005; Schnotz & Bannert, 2003), ainsi que la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2005, 2009, 2014).

Dans le cadre de ce travail, le choix a été fait de s'appuyer principalement sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (Mayer, 2005, 2009, 2014). Ce cadre théorique permet d'éclairer et de poser les bases conceptuelles nécessaire à l'étude de la stratégie de dessin, explorée dans les chapitres suivants.

2. Modèles théoriques de l'apprentissage multimédia

2.1. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer

Le modèle d'apprentissage multimédia, théorisé par Richard Mayer (2005, 2009, 2014), constitue aujourd'hui la référence la plus largement adoptée dans les domaines de la psychologie de l'apprentissage et de l'éducation. Cette théorie vise à expliquer la façon dont les apprenant·es acquièrent de nouvelles connaissances à partir de contenus pédagogiques multimédias, autrement dit, composés simultanément de mots et d'images. L'hypothèse centrale qui sous-tend l'apprentissage multimédia suppose que les étudiant·es apprennent plus efficacement à partir de mots et d'images combinées, comparativement à un contenu uniquement constitué de texte. Autrement dit, l'usage de supports textuels et imagés pour l'apprentissage permettraient d'améliorer la mémorisation et l'intégration des connaissances. Dans cette théorie, les termes « mots » et « images » recouvrent un large spectre de présentation des informations. Les « mots » renvoient à du contenu textuel qui peut être présenté soit sous forme écrit, soit sous forme oral. Les « images », quant à elles, renvoient au contenu visuel qui peut être présenté sous forme statique (illustrations graphiques ou dessinées, photographies, cartes, etc.), ou sous forme dynamique (animations, vidéos, etc.). Il convient de souligner que ces images peuvent correspondre à des types d'illustrations variés,

remplissant des fonctions distinctes dans le processus d'apprentissage, telles que représentationnelles, organisationnelles, interprétationnelles ou transformationnelles, comme cela a été présenté dans la partie précédente. Le document multimédia n'est donc pas défini par le support technologique, comme il pourrait être entendu dans son acceptation habituelle, mais la représentation d'un contenu qui associe à la fois des informations textuelles et imagées.

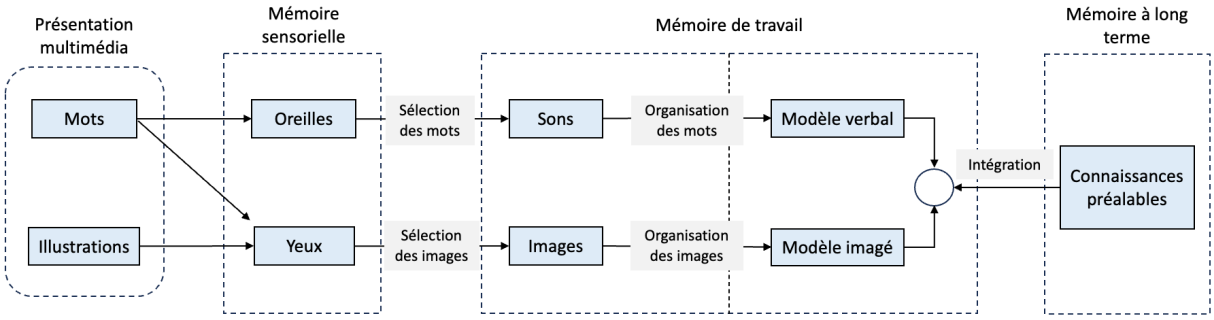
La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia propose une explication détaillée des processus cognitifs mis en œuvre lors de l'apprentissage de documents multimédia. Le modèle schématisé est présenté en Figure 2. Mayer a construit sa théorie sur trois aspects fondamentaux repris d'hypothèses issues de travaux sur la mémoire de travail et l'apprentissage. Le premier aspect provient de la théorie du double codage de Paivio (1990). Cette théorie suggère que les apprenant·es disposent de deux systèmes distincts pour traiter les informations. Il existerait deux canaux verbaux et imagées. Un canal auditif/verbal serait mobilisé pour traiter les mots, entendus ou lus. Et un canal visuel serait mobilisé pour traiter les informations imagées. Ces canaux permettraient par la suite de créer des représentations de ces informations sous formes de modèles mentaux verbaux et imagés. Par ailleurs, il est possible que les apprenant·es convertissent les informations d'un canal pour les représenter dans l'autre canal, ce qui renforcerait le traitement cognitif.

Le second aspect inclus dans la théorie de Mayer, est celui de la capacité limitée de ces canaux de traitement. Il se base sur les travaux de Baddeley et Hitch (1994) ainsi que sur la théorie de la charge cognitive de Chandler et Sweller (1991). En partant du postulat que la mémoire de travail dispose d'une capacité limitée de traitement, c'est-à-dire qu'elle ne peut gérer qu'un nombre restreint d'informations simultanément.

Enfin, le dernier aspect intégré par Mayer à sa théorie, renvoie à un traitement actif des informations. Il suppose que les apprenant·es ne se contentent pas de recevoir passivement l'information, mais qu'iels s'engagent activement dans des processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration afin de construire une représentation mentale cohérente du contenu qu'iels sont en train d'apprendre. Cet aspect s'appuie sur le modèle SOI (Sélection, Organisation, Intégration), proposé par Mayer (1996), qui constitue une première modélisation des processus cognitifs mobilisés dans la compréhension d'un contenu.

La **sélection** correspond à l'attention portée par l'apprenant·e aux mots et aux images jugés pertinents parmi les informations présentées. Ce processus renvoie à un premier filtrage des informations en sélectionnant uniquement celles qui sont jugées essentielles pour la compréhension. **L'organisation** des informations sélectionnées vise à établir des relations entre elles et à les regrouper dans une structure cohérente. Ce traitement est réalisé en mémoire de travail. Enfin, le troisième processus repose sur l'activation et l'utilisation des connaissances antérieures de l'apprenant·e. **L'intégration** permet de lier les informations entrantes sélectionnées aux connaissances préalables présentent dans la mémoire à long terme. Autrement dit, ce processus consiste à activer les connaissances stockées en mémoire à long terme et à les relier aux nouvelles informations présentes en mémoire de travail, afin de construire une représentation cohérente du contenu.

Figure 2.
Modèle traduit de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer.



Il est important de noter que ces trois processus de sélection, organisation et intégration, ne s'effectuent pas nécessairement de manière linéaire. Des allers-retours peuvent avoir lieu entre eux, car la mémoire de travail dispose d'une capacité limitée et ne peut traiter l'ensemble des informations simultanément. L'apprenant·e est ainsi amené·e à mobiliser ses ressources cognitives de manière flexible pour ajuster le traitement des informations en fonction de la complexité du contenu et des exigences de la tâche. Cette capacité d'ajustement repose sur une gestion des ressources cognitives disponibles, notamment en mémoire de travail. C'est précisément ce que met en avant la théorie de la charge cognitive, développée initialement par Sweller (1988) et basée sur les travaux de Baddeley et Hitch (1994). Cette théorie repose sur l'idée centrale que l'apprentissage humain est limité par les capacités de la mémoire de travail. Ces limites concernent à la fois la quantité d'éléments pouvant être traités simultanément et la durée pendant laquelle ces éléments peuvent être maintenus. Dans une tâche d'apprentissage, l'apprenant·e doit manipuler des informations en mémoire de travail pour établir des liens, formuler des modèles mentaux et les stocker en mémoire à long terme. Cependant, la mémoire de travail étant contrainte, tout effort trop couteux risque d'entraver l'apprentissage. Il existe trois dimensions de la charge cognitive : la charge cognitive intrinsèque, la charge cognitive extrinsèque et la charge cognitive germane (Klepsch et al., 2017). La charge cognitive intrinsèque est associée à la complexité inhérente au contenu et

dépend du degré d'interactivité entre les éléments d'information qui doivent être gérés simultanément en mémoire de travail. Elle dépend du nombre d'éléments qui interagissent dans la tâche, ainsi que du niveau de connaissances préalables des apprenant·es. Plus les éléments sont nombreux et fortement interdépendants, plus la charge est élevée. A l'inverse, lorsque l'apprenant·e possède déjà des connaissances concernant le sujet étudié, cela permet d'alléger la charge intrinsèque. La charge cognitive extrinsèque, quant à elle, résulte de la manière dont le matériel d'apprentissage est conçu. Elle reflète la présentation de l'information, en particulier si elle n'est pas optimale. Cette charge est considérée comme non désirable. Enfin, la charge cognitive germane, aussi appelée charge cognitive utile, correspond à l'investissement cognitif nécessaire pour comprendre et acquérir un contenu d'apprentissage. Elle représente la quantité de ressources cognitives disponibles dans la mémoire de travail, qui peuvent être allouées à l'activation de processus cognitifs conscients, facilitant ainsi un apprentissage actif efficace. Contrairement aux deux autres types de charges, qui sont imposées par la tâche elle-même et/ou par le contenu pédagogique, la charge cognitive germane reflète l'engagement actif de l'apprenant·e. Elle est donc considérée comme une charge désirable et est souvent interprétée comme un indicateur de la motivation, de l'engagement cognitif et de la régulation de l'effort en contexte d'apprentissage (Klepsch et al., 2017). Selon la théorie de la charge cognitive, les trois types de charges sont additives. Leur somme ne doit pas dépasser la capacité totale de la mémoire de travail. Ainsi, l'objectif est de réduire la charge cognitive extrinsèque, de gérer la charge cognitive intrinsèque et de favoriser la charge cognitive germane.

Dans cette perspective, la manière dont l'information est présentée devient déterminante pour optimiser l'apprentissage. Ainsi, selon la théorie cognitive de

l'apprentissage multimédia de Mayer (2005, 2009, 2014), trois types de sollicitations cognitives peuvent être exercées lors de l'apprentissage multimédia. Tout d'abord, un traitement extrinsèque, qui renvoie au concept de charge cognitive extrinsèque. Il s'agit d'un traitement inutile et superficiel qui peut être causé par une mauvaise conception du matériel pédagogique. En effet, il se produit lorsque le contenu pédagogique est mal conçu, forçant l'apprenant·e à mobiliser une grande partie de ses ressources cognitives pour traiter des éléments non pertinents ou mal présentés. Ce traitement ne contribue pas à l'apprentissage, car il mobilise la mémoire de travail au détriment des processus essentiels et génératifs. Il est donc crucial de réduire ce type de charge grâce à des principes de conception pédagogique tels que le principe de cohérence (éliminer les informations superflues), le principe de signalisation (attirer l'attention sur les éléments importants), le principe de redondance (éviter la duplication texte/narration), le principe de contiguïté spatiale (rapprocher le texte des images), et le principe de contiguïté temporelle (présenter texte et image en même temps). Ces principes visent à optimiser le traitement de l'information en allégeant la charge inutile, permettant ainsi à l'apprenant·e de se concentrer sur l'essentiel.

Le second type est le traitement essentiel qui correspond à la charge cognitive intrinsèque, autrement dit, aux efforts cognitifs nécessaires pour traiter les informations en mémoire de travail, en fonction de la complexité du contenu. Cette charge est inévitable et ne doit pas être réduite, car elle est directement liée à la compréhension. Elle peut en revanche être gérée grâce à plusieurs principes de conception : le principe de segmentation (diviser l'information en unités assimilables plus facilement), le principe de pré-entrainement (fournir des connaissances de base en amont), et/ou le principe de modalité (utiliser la narration audio plutôt que le texte écrit pour accompagner les images). Ces ajustements permettent d'adapter

la présentation du contenu à la capacité cognitive de l'apprenant·e, en facilitant son traitement progressif.

Enfin, le troisième type de traitement est le traitement génératif, relatif à la charge cognitive germane. Il désigne les efforts cognitifs investis activement par l'apprenant·e pour donner du sens au contenu, en le reliant à ses connaissances préalables et en construisant des représentations mentales cohérentes. Ce traitement dépend fortement de la motivation de l'apprenant, de ses connaissances préalables et de sa capacité à mobiliser des stratégies métacognitives. Dans certains cas, l'environnement d'apprentissage peut être bien conçu, mais l'apprenant·e ne s'engage pas dans traitement génératif, ce qui limite l'apprentissage : c'est le cas de la sous-utilisation générative. Dans ce cas, le contenu pédagogique peut être enrichi par l'ajout de stratégies actives visant à stimulant l'engagement cognitif de l'apprenant·e, telles que : la découverte guidée, le principe d'auto-explication, ou encore la stratégie de dessin (qui fera l'objet d'un approfondissement dans cette thèse).

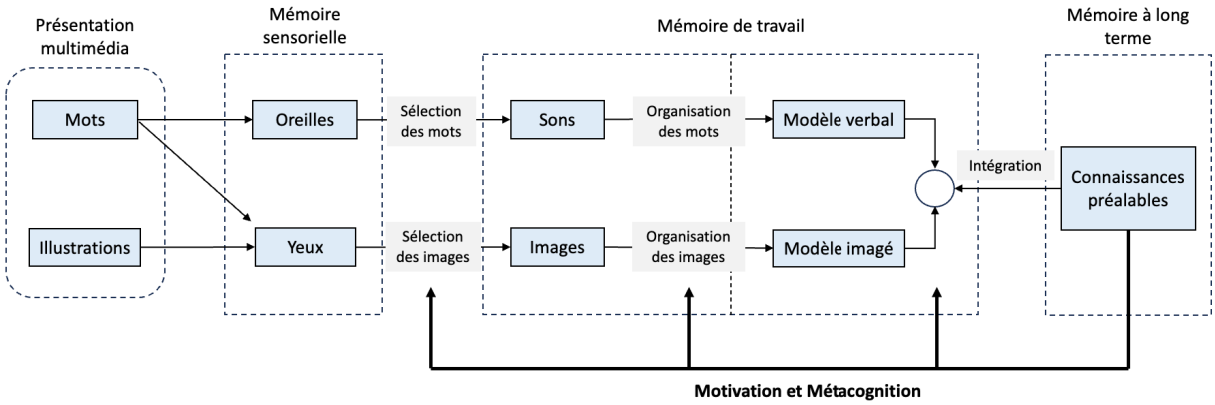
En résumé, une conception pédagogique efficace repose sur l'équilibre de trois axes complémentaires : réduire la charge extrinsèque, gérer la charge essentielle, et soutenir le traitement génératif. Plusieurs des principes de conception évoqués dans cette partie ont été intégrés dans la conception du logiciel développé dans le cadre du projet SKETCH. Ces principes ont également guidé la création des contenus pédagogiques construits avec les formateur·rices des instituts de formation en santé, et seront opérationnalisés dans les études expérimentales présentés dans cette thèse.

2.2. L'ajout de l'influence des facteurs motivationnels et métacognitifs

Si la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia permet de décrire les mécanismes cognitifs essentiels à la compréhension, elle ne rend toutefois pas compte, à elle seule, de l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer la qualité de l'apprentissage. En particulier, elle ne prend pas pleinement en compte le rôle actif de l'apprenant·e dans la gestion de ses ressources attentionnelles, ni l'impact de sa motivation et de ses stratégies métacognitives.

C'est dans cette perspective qu'a été développée la théorie cognitive et affective de l'apprentissage multimédia, proposée par Moreno et Mayer (2007). Celle-ci est une extension du modèle initial qui vise à approfondir l'explication de l'apprentissage dans des contextes interactifs et immersifs, tels que les environnements en réalité virtuelle, les agents pédagogiques ou les systèmes tutoriels, en intégrant les facteurs motivationnels et d'autorégulation comme des composantes centrales du traitement de l'information. Le modèle est présenté en Figure 3. Cette précision théorique s'avère particulièrement pertinente dans le cadre de cette thèse, dans la mesure où l'objectif est d'examiner une stratégie générative, le dessin, mise en œuvre dans un environnement numérique de type système tutoriel intelligent. La prise en compte des facteurs motivationnels et métacognitifs permet ainsi de mieux comprendre l'engagement cognitive de l'apprenant·e au sein de ce dispositif.

Figure 3.
Modèle traduit de la théorie cognitive et affective de l'apprentissage multimédia de Moreno et Mayer (2007).



La motivation à apprendre a été définie comme un état interne propre à l'apprenant·e, qui déclenche, soutient et oriente son comportement vers un objectif d'apprentissage. Les facteurs motivationnels influencent l'apprentissage en modulant le niveau d'engagement cognitif de l'apprenant·e. Autrement dit, plus l'apprenant·e est motivé·e, plus iel est susceptible de mobiliser des ressources mentales pour traiter activement l'information. Quant à la métacognition, elle est définie comme la conscience qu'a l'apprenant·e de ses propres processus cognitifs, ainsi qu'à sa capacité à les superviser et à les réguler. Elle joue un rôle de régulation, en permettant à l'apprenant·e de contrôler ses stratégies d'apprentissage, de surveiller sa compréhension, et d'ajuster son effort.

Par ailleurs ce modèle prend également d'autant plus en compte l'impact des connaissances préalables et les aptitudes cognitives des apprenant·es. Les processus de traitement sont influencés par les connaissances préalables de l'apprenant·e qui orientent l'attention et l'interprétation de l'information, et par les retours d'information suggérées par l'environnement interactif. Ainsi, il apparait que la stratégie de dessin peut constituer une modalité particulièrement intéressante pour stimuler le traitement génératif lors de

l'apprentissage d'un contenu pédagogique. Le chapitre suivant sera ainsi consacré à la définition de cette stratégie, ainsi qu'à la présentation des modèles théoriques qui en soutiennent l'efficacité pédagogique. Il portera sur le cadre théorique de l'apprentissage par génération, présenté dans la section suivante. Il s'agit d'une approche qui met l'accent sur l'activité constructive de l'apprenant·e. Seront ainsi présentés les modèles associés à cette approche, ainsi que les processus cognitifs qu'elle mobilise, afin de mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre dans des stratégies telles que la génération de dessin d'apprentissage.

3. L'apprentissage génératif

Suite aux éléments présentés dans la partie précédente, il apparait que l'apprentissage à partir de documents multimédias, et en particulier de textes illustrés, nécessite un traitement cognitif actif pour être réellement efficace. Dans cette perspective, cette thèse se focalise sur une stratégie active d'apprentissage : l'activité de dessin. Avant de présenter cette stratégie en détail, avec ses modalités, ses effets, ainsi que les travaux qui l'ont étudié, il convient d'introduire le cadre plus général de l'apprentissage par génération, dans lequel elle s'inscrit. La section suivante sera ainsi consacrée à la définition de l'apprentissage par génération, et aux modèles théoriques qui le soutiennent.

3.1. Le modèle de l'apprentissage par génération de Wittrock (1989)

Le modèle des processus génératifs de compréhension de la lecture proposé par Wittrock (1989) met en avant l'action de l'apprenant·e dans le traitement de l'information lors de la lecture. Selon ce modèle, apprendre ne consiste pas à recevoir passivement une

information, mais à générer activement des liens entre les nouvelles informations entrantes et les connaissances préalables de l'apprenant·e. Ce modèle postule que la compréhension d'un texte résulte de quatre composantes principales : l'attention, la motivation, la mémoire et la génération. **L'attention** a pour fonction de focaliser les processus cognitifs de l'apprenant·e vers les éléments les plus pertinents. **La mémoire** regroupe les connaissances préalables de l'apprenant·e, ses expériences vécues et sa métacognition. **La motivation** est la volonté de l'apprenant·e d'apprendre ou de comprendre. Selon Wittrock, la motivation implique l'effort d'engagement cognitif. Enfin, **la génération**, composante centrale du modèle de Wittrock, est décrite comme la capacité de l'apprenant·e à établir des liens à la fois entre les informations contenues dans le texte et ses propres connaissances et expériences antérieures.

Wittrock accorde une place importante au rôle de l'enseignant·e pour aider les apprenant·es à contrôler et ajuster leurs propres façons de construire du sens au contenu qu'iels apprennent. L'enseignant·e peut utiliser différentes méthodes pédagogiques qui encouragent les apprenant·es à faire des liens et à s'approprier les contenus qu'iels sont en train d'apprendre, tout en intégrant leurs connaissances préalables. Iel peut donc agir en utilisant des éléments facilitants comme des titres clairs, des illustrations, guider la lecture à l'aide d'explications, des résumés ou des questions clés, encourager les apprenants à produire eux-mêmes des résumés, schémas, et/ou leur enseigner des stratégies métacognitives pour mieux contrôler et ajuster leur compréhension.

3.2. Le modèle Sélection, Organisation et Intégration (SOI)

L'apprentissage par génération a été précisé par le modèle SOI (Sélection, Organisation, Intégration) proposé et repris par Fiorella et Mayer (Fiorella & Mayer, 2015; Mayer, 1996). Ce modèle articule les apports de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia et de la théorie cognitive et affective de l'apprentissage multimédia, présentées dans la première partie de ce chapitre, en les intégrants au cadre de l'apprentissage par génération. Celui-ci décrit l'apprentissage comme un processus cognitif actif qui repose sur trois processus fondamentaux : la sélection, l'organisation et l'intégration. Selon ce modèle, les informations entrantes dans le système cognitif vont être traitées à travers différents processus et composantes. L'apprenant·e sélectionne les éléments pertinents de l'information, puis les organise mentalement en construisant des représentations cohérentes. Par exemple, en regroupant les idées ensemble ou en structurant un modèle mental. En parallèle, le processus d'intégration va permettre de donner du sens aux informations. Les connaissances préalables de l'apprenant·e, présentent en mémoire à long terme, vont être activées afin d'être mise en lien de manière cohérentes avec les nouvelles informations entrantes. En donnant du sens aux informations, l'apprenant·e va les ancrer plus durablement dans la mémoire à long terme. De plus, deux conditions sont essentielles pour que l'apprentissage génératif soit efficace : la motivation et la métacognition. La motivation pour l'apprenant·e d'engager un traitement cognitif en profondeur. La métacognition pour guider, adapter et contrôler le traitement cognitif tout au long de l'apprentissage.

Dans leur ouvrage, Fiorella et Mayer (2015) ont identifié huit stratégies génératives qui sont adaptées à l'apprentissage multimédia. Ces stratégies sont dites « génératives » puisqu'elles visent à amener les apprenant·es à s'engager activement dans les trois processus cognitifs de

sélection des informations pertinentes, d'organisation de ces informations en structures mentales cohérentes et d'intégration avec les connaissances préalables et expériences déjà vécues. Chacune de ces stratégies représente un moyen spécifique de guider les apprenant·es vers un traitement cognitif profond, favorisant un encodage durable des informations et une bonne compréhension. Ces stratégies ont en commun le fait de transformer l'apprenant·e en acteur de son propre apprentissage, toutefois leur efficacité varie en fonction du contexte d'apprentissage, de la nature du contenu étudié, ainsi que des caractéristiques individuelles des apprenant·es.

- **Résumer :** cette stratégie consiste à reformuler avec ses propres mots les idées principales d'un contenu d'apprentissage, afin d'en favoriser la compréhension et la rétention (e.g., Dunlosky, 2013; Dunlosky et al., 2013; Leopold & Leutner, 2012).
- **Cartographier :** revient à représenter visuellement un contenu textuel à l'aide de cartes conceptuelles ou graphiques organisateurs, afin de mettre en évidence les relations entre les concepts (e.g., Blunt & Karpicke, 2014).
- **Imaginer :** implique de créer des images mentales à partir d'informations verbales, qu'il s'agisse de représentations statiques, d'étapes de processus ou des séquences dynamiques (e.g., Leopold et al., 2019).
- **S'auto-évaluer :** consiste à rappeler activement des connaissances antérieures, par des quiz ou des questions, afin de renforcer la mémorisation et d'identifier des lacunes, notamment grâce à l'effet de test (e.g., Hartwig & Dunlosky, 2012; Roediger & Karpicke, 2006).

- **S'auto-expliquer :** revient à verbaliser à soi-même ce qui a été compris d'un contenu, en liant les nouvelles informations aux connaissances préalables (e.g., Ainsworth & Th Loizou, 2003).
- **Apprendre en enseignant :** consiste à préparer et transmettre un contenu à un pair ou un groupe, ce qui engage des processus de sélection, d'organisation et d'explication renforçant l'apprentissage (e.g., Fiorella & Mayer, 2013).
- **Apprendre par la mise en action :** consiste à manipuler des objets ou utiliser des gestes pour représenter un concept à apprendre, rendant les notions abstraites plus concrètes par l'engagement corporel (e.g., Stull et al., 2018).
- Enfin, **dessiner :** consiste à représenter visuellement un contenu appris, en le structurant graphiquement, ce qui permet de sélectionner, organiser et intégrer activement les informations tout en favorisant l'élaboration de représentations mentales durables (e.g., Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005).

4. Conclusion du Chapitre 2

Ce chapitre a permis de poser les fondements théoriques nécessaires à la compréhension de l'apprentissage à partir de supports multimédias. Il a permis de souligner les bénéfices potentiels de la combinaison entre texte et illustration, mais aussi les contraintes cognitives que cela implique, notamment lorsqu'il s'agit de sélectionner, organiser et intégrer des informations provenant de différentes sources. L'apprentissage à partir de textes illustrés exige ainsi un traitement actif et guidé. Dans cette perspective, la seconde partie du chapitre a présenté l'intérêt des stratégies génératives, qui permettent d'impliquer activement

l'apprenant·e dans la construction de sens. Parmi, ces stratégies, le dessin occupe une place essentielle pour cette thèse, car il mobilise simultanément des processus de sélection, d'organisation et d'intégration, tout en sollicitant les compétences visuospatiales. Le chapitre suivant sera donc consacré à la stratégie d'apprentissage par le dessin, en examinant ses fondements théoriques, ses modalités pratiques et les conditions dans lesquelles elle peut favoriser l'apprentissage, en particulier dans des environnements numériques interactifs.

Chapitre 3 : Stratégie d'apprentissage par le dessin

Ce chapitre prolonge les réflexions menées concernant les spécificités de l'apprentissage à partir de textes illustrés et les apports des stratégies génératives. Il s'intéresse plus particulièrement à la stratégie d'apprentissage par le dessin, abordée comme une méthode engageante, efficace et en cohérence avec les principes de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Le dessin mobiliserait en effet des processus de sélection, d'organisation et d'intégration de l'information, ce qui en fait un outil particulièrement pertinent dans des domaines visuellement complexes, tels que l'enseignement de l'anatomie, où la compréhension des structures spatiales et fonctionnelles est essentielle.

Dans cette thèse, la définition du terme « dessin » s'appuie sur la notion de fonction de représentation, telle que décrite par Alesandrini (1981) et Carney et Levin (2002). Selon cette approche, une illustration vise à reproduire de manière reconnaissable les caractéristiques visuelles d'un objet ou d'un concept. Le dessin est donc envisagé ici comme une production graphique qui remplit une fonction de représentation visuelle : il cherche à restituer, de façon plus ou moins fidèle, l'apparence ou la structure de l'élément étudié.

La stratégie d'apprentissage par le dessin, également désignée par le terme anglais « Generative Drawing », consiste à amener l'apprenant·e à produire un dessin qui représente ce qu'il est en train d'apprendre. En réalisant cette tâche, l'apprenant·e ne se contenterait pas de recevoir l'information, mais la traiterait activement en la sélectionnant, en l'organisant et en l'intégrant à ses connaissances préalables, à travers des représentations internes et externes. Les recherches sur la stratégie d'apprentissage par le dessin ont débuté avec l'étude

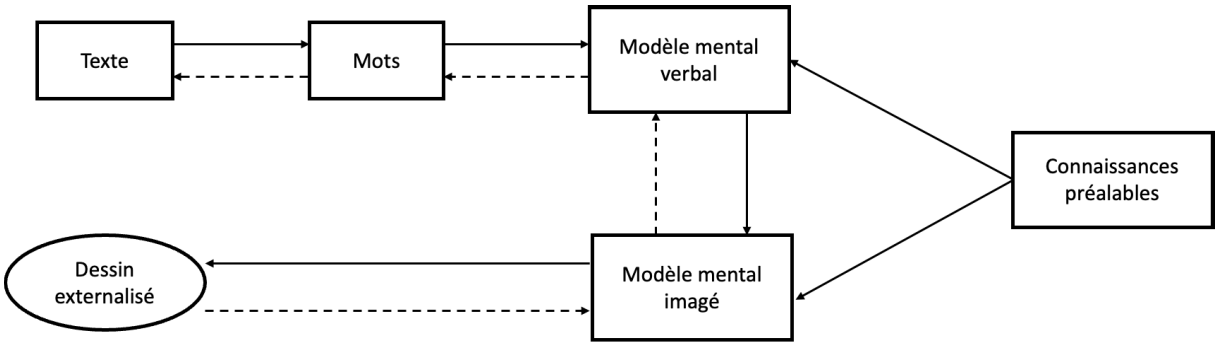
d'Alesandrini (1981), qui a mis en évidence les effets positifs de la production de dessin sur la compréhension de textes. Depuis, de nombreuses études ont été menées. Ces travaux empiriques ont examiné les effets du dessin sur les performances d'apprentissage, les stratégies métacognitives mobilisées, ainsi que les facteurs susceptibles de modérer son efficacité. Les processus cognitifs impliqués dans cette stratégie ont été théorisés à travers deux modèles successifs et complémentaires.

1. Les modèles théoriques de la stratégie d'apprentissage par le dessin

1.1. Théorie générative de la construction de dessin de Van Meter et Garner (2005)

Van Meter et Garner (2005) ont proposé la théorie générative de la construction de dessin, essentiellement basée sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (Mayer, 2005, 2009, 2014). Reprenant les trois étapes du traitement cognitif actif : la sélection, l'organisation et l'intégration, elles étendent ce cadre aux situations dans lesquelles les apprenant·es produisent elleux-mêmes des représentations visuelles à partir de la lecture d'un texte scientifique. Globalement, dessiner implique de sélectionner dans le texte à apprendre les informations pertinentes, de les organiser mentalement de façon cohérente, puis de les intégrer aux connaissances antérieures pour construire une représentation visuelle du contenu. Leutner et Schmeck (2014), ont proposé une représentation visuelle du modèle de Van Meter et Garner, présenté ci-dessous en Figure 4.

Figure 4.
Modèle traduit de la théorie générative de la construction de dessin de Van Meter et Garner (2005), proposé par Leutner et Schmeck en 2014.



Dans ce modèle de Van Meter et Garner (2005), la stratégie de dessin s'applique à une situation d'apprentissage à partir d'un texte seul, sans support visuel fourni. L'apprenant·e doit donc générer une représentation visuelle à partir des informations textuelles :

- **Sélection :** dans l'étape de sélection, l'apprenant·e est amené·e à sélectionner les informations uniquement à partir du texte. Ce processus diffère de l'apprentissage à partir d'un texte illustré, dans lequel l'apprenant·e dispose de deux sources d'information (verbale et visuelle) qui s'influencent et se contraignent mutuellement (Mayer, 2005, 2009, 2014). En effet, dans le cadre de la stratégie d'apprentissage par le dessin, la sélection des informations verbales et/ ou visuelles reposent uniquement sur la représentation verbale.
- **Organisation :** lorsque les informations ont été sélectionnées, l'apprenant·e doit les organiser afin de construire une représentation cohérente du contenu. C'est cette organisation verbale qui est à la base de l'élaboration de la représentation non verbale. La construction du dessin correspond ainsi à une étape de transformation des informations verbales en une forme illustrée, dans laquelle l'apprenant·e traduit sa compréhension en éléments visuels.

- **Intégration :** l'intégration représente l'étape centrale du modèle de Van Meter et Garner (2005). Contrairement au modèle de Mayer (Mayer, 2005, 2009, 2014), où l'intégration intervient en fin de processus, l'activité de dessin oblige ici l'apprenant·e à réaliser activement cette intégration en temps réel. En liant directement les informations issues du texte qu'iel a organisé verbalement et mentalement pour construire une représentation visuelle. Ainsi, les processus d'organisation et d'intégration sont presque confondus.

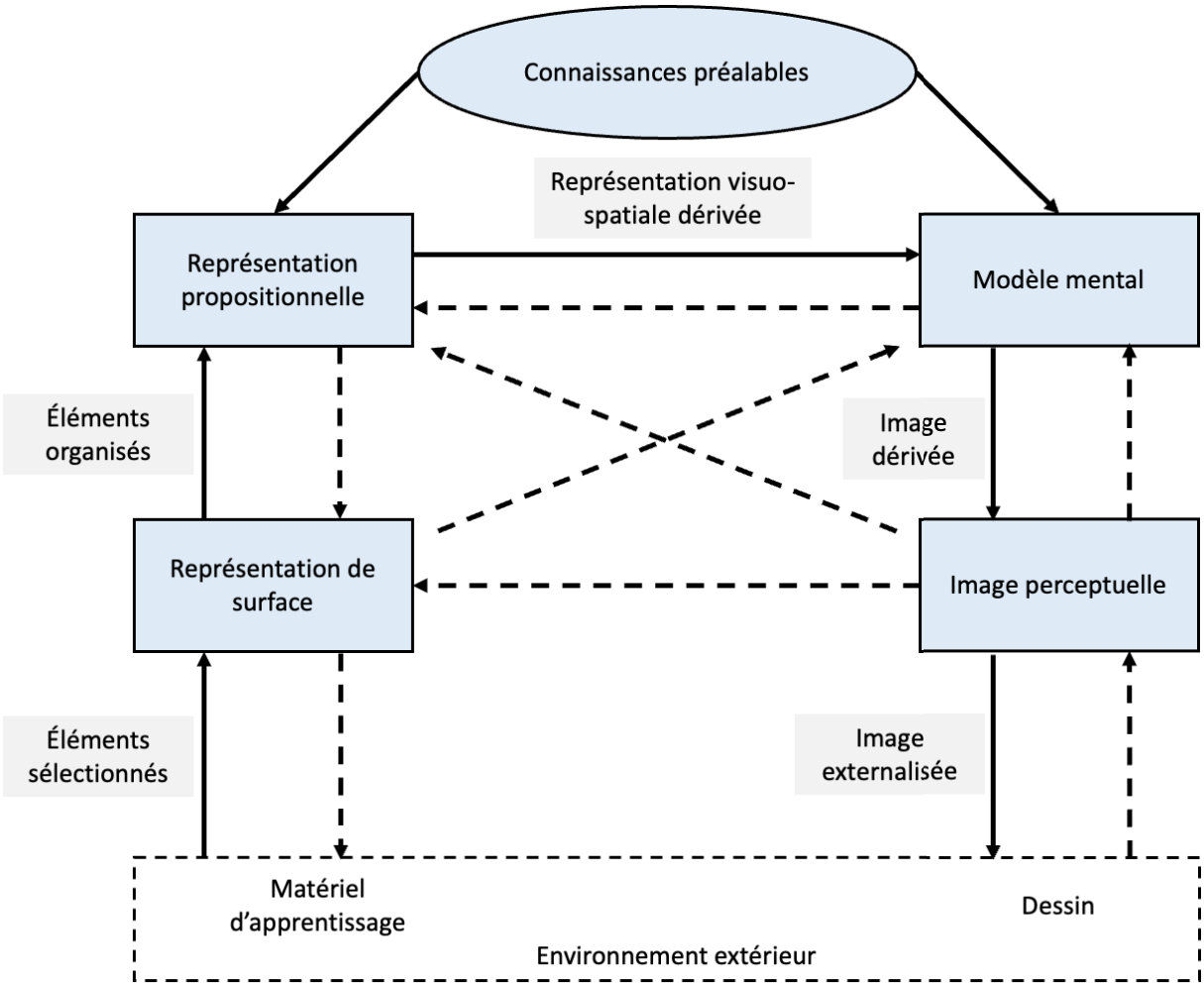
En dessinant à partir d'un texte, l'apprenant·e fusionne les représentations verbales et non verbales, en établissant des liens entre les mots du texte et ce qu'iel se représente mentalement sous forme illustrée. Ce lien est établi par un processus dit de « traduction », bénéfique à la stratégie de dessin. Autrement dit, pour élaborer son dessin l'apprenant·e doit transformer ce qu'il a compris du texte (représentation verbale) en une image interne, et externalisée.

Les étapes de construction d'un dessin d'apprentissage externalisé ne se déroulent pas de manière isolée les unes des autres. Le processus est dynamique et itératif. Des aller-retours entre les étapes s'opèrent grâce à des traitements métacognitifs, de contrôle et de régulation tout au long de la tâche d'apprentissage. Par exemple, en dessinant l'apprenant·e peut revenir au texte pour clarifier une information, puis réajuster son dessin, et ainsi de suite. Ces boucles itératives entre le document d'apprentissage et le dessin de l'apprenant·e jouent un rôle essentiel dans l'élaboration progressive d'un modèle mental cohérent et précis.

1.2. Modèle cognitif de la génération de dessin de Van Meter et Firetto (2013)

Le Modèle Cognitif de la Génération de Dessin proposé par Van Meter et Firetto (2013) constitue une évolution du modèle de Van Meter et Garner (2005) présenté dans la partie précédente. S'appuyant sur les mêmes fondements, ce modèle revisité vise à approfondir la compréhension des processus cognitifs en jeu lorsque les apprenant·es produisent un dessin à partir d'un texte scientifique, tout en intégrant des dimensions complémentaires issues de la théorie de l'apprentissage autorégulé (Winnie & Hadwin, 1998) et du modèle ITPC (Integrated Text and Picture Comprehension) de Schnotz (2005). Il apporte ainsi des précisions et des extensions au cadre théorique initial, en intégrant de nouveaux éléments pour mieux décrire les mécanismes impliqués dans cette stratégie d'apprentissage (voir Figure 5).

Figure 5.
Représentation traduite du modèle cognitif de la génération de dessin de Van Meter et Firetto (2013).



Dans un premier temps, l'apprenant·e effectue un traitement linguistique du texte pour former une représentation de surface de celui-ci. Cette étape correspond simplement à la lecture littérale du texte, sans donner de sens à celui-ci et sans réelle compréhension.

Le traitement sémantique intervient après cette première étape. L'apprenant·e cherche à comprendre le sens, en identifiant les idées principales et les relations entre elles. Cette étape conduit à une représentation propositionnelle, qui correspond à une structure verbale dans laquelle les éléments du texte sont organisés et reliés entre eux de façon cohérente.

A partir de cette représentation propositionnelle, l'apprenant·e construit un modèle mental. Celui-ci n'est plus uniquement verbale, mais intègre également une dimension visuospatiale. Il intègre les éléments du texte tout en prenant en compte leurs formes, leurs aspects, leurs placements les uns par rapport aux autres. Ce modèle mental est ensuite traduit en une représentation mentale (« image perceptuelle »)., qui remplit une fonction de représentation visuelle, et peut être mobilisée pour produire le dessin. C'est donc une étape intermédiaire entre le modèle mental abstrait et le dessin externalisé. En clair, le dessin produit par l'apprenant·e est une externalisation du concept à représenter.

Dans le modèle représenté en Figure 5, les flèches pleines indiquent les processus cognitifs (sélection, organisation et intégration) qui permettent à l'apprenant·e de passer du texte à l'externalisation du dessin. Tandis que les flèches pointillées représentent le rôle de la métacognition. Elles représentent les aller-retours que l'apprenant·e peut faire tout au long de l'apprentissage du texte et de l'élaboration du dessin lors de cet apprentissage. Ces aller-retours montrent que la stratégie de dessin ne constitue pas un processus linéaire. Au contraire, l'apprenant·e navigue continuellement entre le texte, les différents types de représentations, et le dessin, en mobilisant des ajustements métacognitifs à chaque étape.

Van Meter et Firetto (2013), dans leur modèle, décrivent plusieurs phases présentes dans le processus de régulation de l'apprentissage :

- Une phase de planification correspondant à la définition des standards de performance dans laquelle l'apprenant·e se fixe un objectif d'apprentissage et établit des critères pour guider la tâche de dessin. Ces critères peuvent par exemple porter sur le niveau de détail attendu, les mises en avant des relations spatiales entres les éléments, ou encore, le degré de précision du dessin.

- Une phase d'engagement dans les processus cognitifs. Elle inclut les processus de sélection, d'organisation et d'intégration des informations extraites du texte, menant à la construction du modèle mentale, puis à l'image perceptive, et enfin au dessin externalisé.
- Une phase dite d'autosurveillance qui constitue une étape essentielle du processus de régulation lors de la génération de dessin d'apprentissage. En effet, le dessin ne peut aboutir que si l'apprenant·e a une compréhension suffisante du contenu. Lorsqu'une information n'est pas bien comprise, la tentative de représentation échoue, et déclenche une prise de conscience chez l'apprenant·e sur ses lacunes dans la compréhension. Ainsi, l'apprenant·e va être amené·e à revenir au texte ou à reconsidérer son modèle mental, engageant ainsi des boucles de rétroaction pour ajuster et affiner sa compréhension. L'autosurveillance va favoriser l'auto-régulation de la compréhension, et faciliter les révisions nécessaires à la progression du dessin et à l'approfondissement du traitement du contenu à apprendre.

En conclusion, le modèle montre la stratégie de dessin comme une démarche cognitive complexe, dynamique et autorégulée, qui implique une transformation progressive des informations textuelles en des représentations visuelles. Ce processus dépend à la fois des caractéristiques internes de l'apprenant·e et des caractéristiques externes du matériel d'apprentissage.

Les deux modèles théoriques présentés ici fournissent un cadre explicatif solide pour analyser les bénéfices potentiels du dessin sur l'apprentissage. La prochaine partie examine dans quelle mesure cette stratégie favorise effectivement les performances des apprenant·es, en s'appuyant sur les résultats empiriques issus de la littérature scientifique.

2. Les effets de la stratégie de dessin sur les performances d'apprentissage

De nombreuses recherches ont évalué les effets de la stratégie d'apprentissage par le dessin, et plusieurs synthèses ont mis en évidence à la fois ses bénéfices et les facteurs susceptibles d'en moduler l'efficacité. Fiorella et Mayer (2015) ont réalisé une synthèse de 28 études portant sur le dessin élaboré dans un but d'apprentissage. 26 d'entre elles rapportent un effet positif sur les performances, confirmant l'intérêt pédagogique de cette activité. Dans une autre revue de littérature, Fiorella et Zhang (2018), ont montré que l'efficacité du dessin varie fortement selon la stratégie d'apprentissage à laquelle il est comparé. Il semblerait que l'avantage de l'activité de dessin soit plus marqué lorsqu'elle est comparée à une stratégie passive (par exemple de la lecture seule), et plus nuancée lorsqu'elle est comparée à d'autres stratégies actives. Le type de contenu à apprendre constitue un facteur modérateur important, amenant les auteur·es à nuancer les effets de la stratégie de dessin selon la méthode d'apprentissage utilisée comme point de comparaison. Leur analyse s'est toutefois portée exclusivement sur des études mesurant la compréhension et le transfert, et excluant celles qui ne comportaient pas ces mesures. Ce qui ne signifie pas que le dessin n'aurait pas d'effet sur les autres types d'apprentissage comme la mémorisation. En effet, Cromley et al. (2020) ont souligné l'efficacité du dessin sur d'autres types de performances d'apprentissage. Iels ont mené une méta-analyse incluant 53 études afin d'évaluer l'efficacité du dessin et d'analyser si ses effets diffèrent en fonction de l'environnement utilisé : soit de type traditionnel (papier-crayon), soit numérique. Leurs résultats indiquent que le dessin bénéficie globalement à l'apprentissage, mais que l'ampleur des effets varie selon le type de mesure. L'effet est fort

pour la mémorisation des informations factuelles, modéré pour les inférences et plus faible pour le transfert. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les supports. Ce qui veut dire que le choix du type de support peut se faire selon les préférences et les contraintes matérielles. Toutefois, très récemment des auteur·es ont mis en évidence un effet de traitement focalisé (« *focus processing effect* ») engendré par le dessin (Jamet & Michinov, 2022; Rochat et al., 2022). Ce phénomène a notamment été observé dans des études comparant différents types de support de guidage, en particulier des supports verbaux et visuels proposés aux apprenant·es pendant la réalisation du dessin d'apprentissage. Ces travaux montrent que l'activité de dessin pendant l'apprentissage tend à focaliser l'attention des apprenant·es sur les éléments nécessaires à la réalisation du dessin, en particulier les informations illustrées. Cette focalisation favoriserait un traitement plus approfondi et un meilleur encodage de ces informations. En revanche, elle pourrait s'accompagner d'un traitement moins efficace d'autres types d'informations, notamment textuelles ou faiblement liées à la dimension spatiale du contenu puisque dans les 2 études citées, ces informations sont moins bien mémorisées quand une tâche de dessin est réalisée pendant l'apprentissage.

Enfin, Cromley et al. (2020) ont souligné que la manière dont la tâche est conçue et encadrée pédagogiquement étaient également des facteurs déterminants. A partir de ces travaux, la suite de ce chapitre présentera les effets du dessin selon les stratégies et supports auxquels il est comparé, ainsi que les principaux facteurs modérateurs identifiés dans la littérature.

2.1. La stratégie de dessin comparée aux stratégies textuelles

Plusieurs études ont comparé l'apprentissage par le dessin à des stratégies dites « textuelles ». C'est-à-dire des stratégies basées sur le traitement verbal du contenu, sans

traduction du contenu dans une autre forme de représentation. Elles peuvent prendre des formes variées, plutôt passives comme la simple lecture ou relecture d'un texte, à des stratégies plus actives comme la prise de notes, l'élaboration de résumer et le fait de paraphraser. Par exemple, Leopold et Leutner (2012) ont mené deux études permettant de comparer la stratégie de dessin à deux stratégies axées sur le texte : la sélection d'idées principales et le résumé. Dans ces études, les étudiant·es ont appris un cours de chimie et leur compréhension a été évaluée. Dans les deux études, la comparaison entre la stratégie de dessin et les stratégies textuelles a mis en évidence un effet positif du dessin, tandis que les approches textuelles ont montré des effets plus faibles, voire négatifs. Schmeck et al. (2014), dans leur première étude, ont comparé l'apprentissage d'élèves qui étudiaient un cours soit en lisant uniquement, soit en générant un dessin pendant l'apprentissage. Leur étude a montré un effet bénéfique du dessin par rapport à la lecture seule. L'avantage de la stratégie de dessin par rapport aux stratégies textuelles s'explique notamment par le fait que, comparativement à la lecture seule, la transformation du matériel verbal en une représentation spatiale engage des processus cognitifs qui ne sont pas mobilisés lors d'une stratégie plus passive comme la simple lecture d'un texte, ni même lors d'un encodage exclusivement verbal, comme dans le cas d'une stratégie textuelle active.

Plus récemment, Eidman et Fiorella (2024) ont approfondi cette comparaison en examinant la fréquence d'utilisation spontanée du dessin par les apprenant·es. L'étude a montré que lorsque les apprenant·es ont le choix, iels choisissent rarement la stratégie de dessin mais privilégient plutôt l'activité de résumer. Cette préférence s'explique par le manque d'expérience des apprenant·es avec le dessin d'apprentissage, des attentes de réussites plus faibles, ainsi qu'un coût perçu plus élevé du dessin comparativement au résumer. Ainsi, même

si la littérature montre que le dessin est plus efficace pour la compréhension que les stratégies textuelles, cette stratégie n'est pas spontanément préférée par les étudiant·es. Autrement dit, le dessin peut rester sous-utilisé, non pas en raison de son manque d'efficacité, mais à cause du manque d'incitations ou de guidage explicites.

2.2. La stratégie de dessin comparée à d'autres stratégies d'apprentissage actives

Le dessin a été comparée à d'autres stratégies actives, pas uniquement textuelles telles que l'imagination et l'auto-explication. Ces stratégies, bien qu'également centrées sur la construction d'une représentation mentale, mobilisent des processus différents. Dans ce cadre, les résultats obtenus sont plus nuancés, ne montrant pas systématiquement un avantage en faveur du dessin.

Par exemple, Leutner et al.(2009) ont montré que les apprenant·es qui avaient été amené·es à dessiner le contenu d'un cours de chimie obtenaient de moins bons résultats d'apprentissage que celleux ayant utilisé la stratégie d'imagination. Cet effet négatif du dessin est expliqué par une charge cognitive trop élevée ayant été induite par la tâche de dessin. D'autres travaux, comme ceux de Lin et al. (2017) ou Schmidgall et al. (2019), n'observent aucune différence significative entre les stratégies de dessin et d'imagination sur les performances d'apprentissage. Enfin, Cheng et Beal (2020) n'ont également pas montré de différence entre les deux stratégies sur les performances d'apprentissage. En revanche, iels ont mis en avant une interaction entre les capacités spatiales et les performances d'apprentissage, révélant que lorsque les apprenant·es ont des capacités spatiales élevées, le dessin entraine un rappel significativement plus élevé que l'imagination (voir partie sur les capacités spatiales). Scheiter

et al. (2017) ont comparé le dessin à l'auto-explication, stratégie qui consiste à amener l'apprenant·e à verbaliser pour soi-même ce qui a été compris d'un contenu. L'étude n'a montré aucune différence significative entre les deux stratégies, bien que la qualité du dessin soit positivement corrélée aux performances.

Ces études suggèrent que ces autres stratégies actives partagent un même objectif cognitif que le dessin mais qu'elles diffèrent par les exigences qu'elles impliquent. Le dessin exige une externalisation de la représentation mentale, ce qui peut soulager la mémoire de travail mais augmenter la charge cognitive. En revanche, l'imagination ou l'auto-explication sont moins couteuses sur le plan de la production mais sollicitent davantage les ressources cognitives. La supériorité d'une des stratégies dépend donc du profil de chaque apprenant·es et du niveau de guidage fourni par l'enseignant·e pour aider les apprenant·es dans la réalisation d'une des stratégies.

2.3. La stratégie de dessin comparée aux illustrations fournies par l'enseignant·e

Une autre comparaison proposée par Fiorella et Zhang (2018) oppose la stratégie de dessin à la consultation des illustrations fournies par l'enseignant·e. Selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2005, 2009, 2014), l'ajout d'un visuel à un texte améliore la compréhension par rapport à un texte seul. Cependant, comme nous l'avons vu dans le Chapitre 2, plusieurs études ont montré que les apprenant·es ont tendance à traiter les illustrations de manière passive, c'est-à-dire sans les relier activement au contenu verbal qui les accompagne, ce qui limite la construction d'un modèle mental cohérent. Autrement dit, bien que les illustrations soient conçues pour soutenir la compréhension, leur potentiel

pédagogique reste souvent sous-exploité en raison de difficultés à les traiter, à en extraire le sens, à les articuler avec le texte, ou à en faire bon usage dans l'apprentissage.

Dans ce contexte, la stratégie de dessin se présente comme une alternative plus active, car il est demandé à l'apprenant·e de générer ellui-même une représentation à partir du texte. Ce processus favorise la sélection, l'organisation et l'intégration des informations, ainsi qu'un contrôle métacognitif. Néanmoins, cette stratégie peut être plus coûteuse cognitivement et son efficacité dépendant de la capacité de l'apprenant·e à élaborer cette représentation visuelle externe. Les résultats de cette comparaison sont donc contrastés. Plusieurs études ont montré un avantage du dessin comparativement au texte illustré (Schmeck et al., 2014; Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006). Toutefois, d'autres travaux rapportent des effets inverses, en particulier lorsque la tâche de dessin devient trop coûteuse cognitivement ou que les apprenant·es produisent des dessins de faibles qualité (Leopold & Leutner, 2012 ; Schwamborn et al., 2011). Enfin, plusieurs recherches ne constatent aucune différence significative entre les deux stratégies (Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2019). Ainsi, le dessin peut parfois soutenir un traitement cognitif plus actif que les illustrations fournies, son efficacité dépend largement d'autres facteurs modérateurs tels que le niveau de guidage, les connaissances préalables des apprenant·es et/ou la qualité des dessins produits par exemple.

Si les résultats présentés jusqu'ici permettent de mieux comprendre les effets de la stratégie de dessin sur les performances d'apprentissage, ils ne suffisent pas à rendre compte de l'ensemble des bénéfices potentiels de cette activité. En effet, le dessin semble également jouer un rôle sur d'autres dimensions de l'apprentissage, tels que la métacognition et la charge cognitive.

3. Effets de la stratégie de dessin sur la métacognition et la charge cognitive

Un apprentissage efficace ne repose pas uniquement sur la capacité à traiter l'information, mais aussi sur la capacité à s'auto-évaluer et s'autoréguler, comme nous le montre les modèles présentés. La métacognition se définit comme l'ensemble des processus par lesquels les apprenant·es prennent conscience de leurs propres mécanismes cognitifs et les régulent. Elle permet aux apprenant·es de planifier les actions, de surveiller leur compréhension et de s'auto-évaluer afin d'ajuster constamment leur stratégie en fonction des exigences de la tâche d'apprentissage. Un aspect spécifique de la métacognition, la métacompréhension, renvoie à la capacité d'un·e apprenant·e à évaluer l'exactitude de sa propre compréhension d'un contenu (Dunlosky & Lipko, 2007). Cette compréhension est très importante pour éviter les illusions de compréhension qui peuvent être retrouvées notamment chez les apprenant·es peu expérimenté·es. De plus, la qualité de la métacompréhension influence directement l'engagement cognitif. En effet, un·e apprenant·e capable d'identifier ses difficultés est plus susceptible de mobiliser des efforts pour les compenser. Dans cette perspective, certaines stratégies pédagogiques telles que le dessin ont été identifiées comme particulièrement efficaces pour soutenir la métacognition.

3.1. Effet du dessin sur l'auto-évaluation

La stratégie d'apprentissage basée sur le dessin peut rendre les apprenant·es plus conscient·es de leurs difficultés d'apprentissage. En créant leur propre représentation visuelle

externe, iels doivent organiser et structurer l'information, tout en évaluant la précision de leur production. Autrement dit, iels peuvent identifier les aspects incomplets ou incorrects de leur propre représentation, ce qui les amène à se corriger progressivement. D'un point de vue métacognitif, les apprenant·es à qui l'on demande de dessiner s'engageraient plus fréquemment dans des processus d'auto-évaluation et d'auto-régulation, comparativement à celleux qui ne réalisent pas de dessin d'apprentissage (Van Meter & Firetto, 2013). Cependant, peu d'études ont examiné directement l'effet du dessin sur la métacognition.

La métacognition a été étudiée à travers la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es, de plusieurs façons. Premièrement, la précision absolue ou calibration, qui évalue l'écart entre le jugement d'apprentissage (JoL) d'un·e apprenant·e et sa performance réelle. Deuxièmement, la précision relative du monitoring, qui indique dans quelle mesure un·e apprenant·e distingue les connaissances bien maitrisées de celles qui ne le sont pas ou moins. Une étude réalisée par Van De Pol et al. (2020) a permis de comprendre comment les activités génératives, telles que le dessin et la cartographie influencent la métacognition. Les apprenant·es engagé·es dans des activités génératives sont susceptibles d'utiliser des indices basés sur la qualité des éléments corrects dans leur production pour évaluer leur apprentissage. Toutefois, ces indices diagnostiques n'ont peut-être pas toujours été utilisés efficacement par les apprenant·es, ce qui limiterait l'impact des activités génératives telles que le dessin sur l'auto-évaluation (Kostons & De Koning, 2017; Schleinschok et al., 2017). Il a été observé que la précision relative s'améliore lorsque les apprenant·es ont reçu des instructions précises qui les aident à établir des relations entre les éléments textuels plutôt que de se concentrer uniquement sur la précision de leur dessin (Thiede et al., 2019). Dans leur étude où des conseils ont été fournis pour la tâche de dessin, Kollmer et al. (2020) ont constaté que la calibration était meilleure

lorsque les apprenant·es dessinaient pendant l'apprentissage. Schleinschok et al. (2017) ont montré que le dessin améliorait la précision relative sans affecter la calibration, tandis que Kollmer et al. (2020) ont observé une amélioration de la calibration sans impact sur la précision relative. Il semblerait que le guidage utilisé pour guider la tâche de dessin explique les résultats contrastés. La segmentation utilisée dans l'étude de Kollmer et al. (2020) faciliterait un meilleur alignement entre jugements d'apprentissage et performance réelle. Plus récemment, Fiorella et al. (2024) ont apporté un nouvel éclairage en permettant aux apprenant·es de comparer leur dessin à des visuels fournis. Leur étude visait à tester deux hypothèses opposées. D'une part, l'hypothèse de facilitation de la comparaison prédisait que cette confrontation aux visuels fournis aiderait les apprenant·es à identifier et corriger leurs erreurs. D'autre part, l'hypothèse d'interférence comparative suggérait que le fait de voir un visuel concret après avoir réalisé un dessin pouvait perturber le jugement des apprenant·es en leur donnant une illusion de compréhension. Les résultats ont mis en avant un effet paradoxal de la comparaison entre les dessins générés et fournis. Les apprenant·es sous-estimaient la qualité de leurs propres dessins, tout en surestimant leur capacité à produire de meilleur dessin dans un test final. Ces résultats s'expliqueraient selon les auteur·es par une focalisation excessive sur des indices superficiels (esthétique du dessin) plutôt que sur des éléments pertinents pour l'apprentissage.

3.2. Effets du dessin sur la charge cognitive

La stratégie de dessin peut avoir un effet sur la charge cognitive engendrée pendant l'apprentissage. Pour rappel (voir Chapitre 2), les travaux concernant la charge cognitive distinguent trois types de charge : 1) la charge intrinsèque, liée à la complexité du contenu à

apprendre, 2) la charge extrinsèque, liée à la présentation de l'information, enfin 3) la charge germane relative à l'effort investi par l'apprenant·e pour mettre en lien les processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration, essentiels pour assurer une acquisition efficace des connaissances et une compréhension approfondie. D'un côté, transformer un contenu textuel en une représentation visuelle, comme c'est le cas pour le dessin, peut accroitre la charge cognitive germane (Schmidgall et al., 2019). D'un autre côté, l'activité de dessin pendant l'apprentissage peut également accroitre la charge cognitive extrinsèque (Leutner et al., 2009; Schwamborn et al., 2011). Notamment dans les cas où le contenu est complexe, et/ou si l'apprenant·e est novices sur le sujet étudié ou n'est pas familier avec la pratique d'un dessin d'apprentissage. Des travaux montrent qu'un guidage fournit à l'apprenant·e permettrait de réduire cette charge néfaste et permettrait à l'apprenant·e de consacrer plus de ressources utiles à la compréhension, améliorant ainsi les résultats d'apprentissage (Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2021).

Toutefois, il est un important de noter que peu d'études ont examiné les effets du dessin spécifiquement sur la charge cognitive. Par ailleurs, lorsque c'est le cas, l'activité peut parfois avoir été soutenu par une forme de guidage. Enfin, les études n'utilisent pas toutes les mêmes outils pour mesurer la charge cognitive et ne s'appuie pas systématiquement sur un modèle à trois dimensions de la charge cognitive (intrinsèque, extrinsèque et germane). Ce qui peut rendre les résultats difficilement comparables et peut expliquer certaines divergences dans les conclusions concernant l'effet du dessin sur la charge cognitive. Par ailleurs, il peut être parfois compliqué de déterminer quel type de charge est réellement affectée par la stratégie de dessin.

De nombreuses études ont donc examiné la stratégie de dessin à partir d'un texte, en mettant en évidence ses effets sur les performances d'apprentissage, la métacognition et la charge cognitive. Au-delà de ces résultats, d'autres facteurs liés aux apprenant·es et aux caractéristiques de la tâche sont à considérer car ceux-ci peuvent modérer l'efficacité de la stratégie de dessin.

4. Facteurs modérateurs de l'efficacité de la stratégie de dessin

4.1. Les connaissances préalables

Parmi les facteurs individuels susceptibles d'influencer l'efficacité de la stratégie de dessin, le niveau de connaissances préalables des apprenant·es occupe une place centrale dans les modèles théoriques. Notamment car ces connaissances préalables constituent la base des informations déjà acquises et présentes en mémoire à long terme, sur lesquelles viennent se greffer les nouvelles informations entrantes, afin de construire des représentations mentales cohérentes. A l'inverse, en l'absence de connaissances préalables suffisantes, l'activité de dessin peut augmenter la charge cognitive et perdre en efficacité. Toutefois, peu d'études ont examiné spécifiquement l'effet des connaissances préalables dans le cadre de la stratégie de dessin. Van Meter et Garner (2005) ont souligné que le dessin ne devient réellement efficace que lorsque l'apprenant·e dispose d'une représentation minimale du contenu à représenter. Autrement dit, les novices sont plus susceptibles de rencontrer des difficultés pour élaborer un dessin. Certains travaux ont indiqué que l'activité de dessin serait

particulièrement bénéfique pour les apprenant·es ayant de faibles connaissances préalables sur le sujet étudié (Fiorella & Mayer, 2015; Lin et al., 2017). En revanche, l'étude de Cheng et Beal (2020), comparant les stratégies de dessin et d'imagination, a montré que les connaissances préalables prédisent les performances globales, mais n'interagissent pas avec la stratégie utilisée.

Quelques travaux recommandent d'accompagner les apprenant·es novices avec des supports de guidage explicites, telles que les illustrations partielles fournies par les enseignant·es, des aides visuelles ou des comparaisons avec des illustrations fournies (Fiorella et al., 2024; Fiorella & Zhang, 2018; Schmidgall et al., 2019; Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2021). Autrement dit, l'utilisation du dessin d'apprentissage chez les apprenant·es novices nécessiterait un accompagnement pédagogique spécifique (voir Chapitre 3 partie 5).

4.2. Les capacités spatiales

Les capacités spatiales[2] constituent un facteur modérateur important dans l'efficacité de la stratégie d'apprentissage par le dessin. Elles désignent l'ensemble des habiletés cognitives permettant de percevoir, représenter mentalement, manipuler et transformer des objets ou des structures dans l'espace (Uttal & Cohen, 2012). Ces capacités incluent notamment la visualisation (capacité à construire une image mentale tridimensionnelle à partir d'un contenu textuel ou bidimensionnel) et la rotation mentale (permet d'imaginer mentale un objet sous différents angles et dans l'espace).

[2] Dans cette thèse, le terme *capacités spatiales* est employé pour désigner les habiletés cognitives des apprenant·es impliquées dans le traitement de l'information spatiale. Tandis que le terme *connaissances visuospatiales* sera utilisé pour faire référence aux mesures de l'acquisition des connaissances anatomiques, évaluées à l'aide d'un test spatial.

Comme il l'a été présenté en Chapitre 1, les capacités spatiales jouent un rôle important dans l'apprentissage de l'anatomie. Deux synthèses ont exploré le lien entre les capacités spatiales et les performances en anatomie. Langlois et al. (2017), dans une revue systématique, ont montré que les capacités spatiales sont corrélées à la performance uniquement dans certaines formes d'évaluation : examens pratiques, dessin, synthèse 3D à partir de vues 2D. En revanche, les QCM non spatiaux ne montrent aucune corrélation avec les aptitudes spatiales. Roach et al.(2021) ont renforcé cette conclusion via une méta-analyse, montrant une corrélation faible mais significative entre la performance en anatomie et les résultats au test de rotation mentale (MRT), surtout pour les évaluations spatiales. Ces travaux convergent pour affirmer que l'effet des capacités spatiales dépend du type d'évaluation.

Dans le cadre de la stratégie de dessin, représenter visuellement un concept implique de traduire un texte en une structure spatiale et/ou de représenter des relations complexes entre les éléments. Or, ces habiletés peuvent varier en fonction de chaque individu, ce qui peut conduire à des différences importantes dans la qualité des dessins produits et, par conséquent, dans l'efficacité de la stratégie d'apprentissage par le dessin. Quelques études ont examiné le rôle des capacités spatiales dans l'efficacité de la stratégie d'apprentissage par le dessin. Une première étude, menée par Bobek et Tversky (2016), a montré que le dessin permettait aux apprenant·es à faibles capacités spatiales d'apprendre aussi bien que celleux à hautes capacités spatiales. L'activité de dessin favoriserait la construction de modèles mentaux plus riches, même chez les apprenant·es disposant de capacités spatiales limitées. De leur côté, Zhang et Fiorella (2019) ont montré que les capacités spatiales prédisaient significativement le score de compréhension, mais pas le rappel. Cette relation a été observé uniquement chez les apprenant·es ayant généré un dessin pendant l'apprentissage mais pas chez celleux ayant

reçu une illustration fournie. Ce résultat suggère que le dessin mobilise plus fortement les capacités spatiales que les tâches passives, et que les apprenant·es ayant de hautes capacités spatiales parviennent à construire des représentations mentales plus efficaces pour l'apprentissage. Cheng et Beal (2020) ont également montré une interaction entre les capacités spatiales et la stratégie de dessin. Ils ont observé que le dessin était bénéfique pour les apprenant·es ayant de hautes capacités spatiales. En revanche, pour les apprenant·es à faibles capacités spatiales, le dessin peut conduire à une surcharge cognitive, les empêchant de traiter correctement l'information. Plus récemment, Ritchie et al. (2023) ont mené une étude visant à évaluer l'impact d'un tutoriel de dessin guidé sur l'apprentissage de l'anatomie, ainsi que le rôle des capacités spatiales sur les performances d'apprentissage des apprenant·es. Cette étude a nuancé le lien entre capacités spatiales et performances d'apprentissage, en mettant en évidence le fait que ce lien dépendrait du type de test utilisé pour évaluer l'acquisition des connaissances anatomiques. Ce résultat s'accorde avec les conclusions des synthèses de Langlois et al. (2017) et Roach et al. (2021).

4.3. La qualité des dessins

La qualité des dessins générés par les apprenant·es apparait également comme un facteur déterminant dans l'efficacité de la stratégie de dessin. Selon Van Meter et Garner (2005), elle correspond au « degré de ressemblance entre un dessin produit et l'objet ou le concept qu'il doit représenter ». Plusieurs études ont mis en évidence la relation positive entre la qualité des dessins produits pendant la tâche et les performances d'apprentissage (Hellenbrand et al., 2019; Schleinschok et al., 2017; Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2020; Schwamborn et al., 2010, 2011; Zhang & Fiorella, 2019). Schwamborn et al. (2011) ont

formulé l'idée que le dessin possède un effet pronostique. Cet effet indique que la qualité de dessin réalisés prédit la qualité des résultats d'apprentissage. L'hypothèse sous-jacente est que dessiner encourage un traitement profond en favorisant la traduction du contenu verbal en un contenu illustré. Ainsi, un dessin de qualité indiquerait dans quelle mesure l'apprenant·e s'est engagé·e dans un traitement cognitif pertinent. Par ailleurs, la qualité du dessin produit pendant l'apprentissage peut être mobilisée dans une perspective formative. Les apprenant·es peuvent utiliser leurs propres dessins pour prendre conscience de leurs lacunes, les réviser, et ajuster leur apprentissage. Tandis que les enseignant·es peuvent s'appuyer sur les dessins pour identifier les erreurs de compréhension, ajuster leur enseignement et guider la progression.

Néanmoins, améliorer la qualité des dessins reste un défi, en particulier pour les apprenant·es novices. Zhang et Fiorella (2021) montrent que des formes de soutien textuel ou visuel ne suffisent pas toujours à corriger des modèles mentaux incorrects. Ils suggèrent la nécessité de dispositifs de guidage plus spécifiques, par exemple en rendant saillantes les différences entre les dessins des apprenant·es et les illustrations fournies des enseignant·es.

5. Effets du guidage pendant l'activité de dessin

Dessiner à partir d'un texte peut être une tâche particulièrement exigeante. Ainsi, de nombreuses études qui ont examiné la stratégie d'apprentissage par le dessin ont conclus à une nécessité de guider les apprenant·es afin de les aider dans l'élaboration de cette stratégie (Fiorella et al., 2024; Fiorella & Zhang, 2018; Schmidgall et al., 2019; Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2021). Fiorella et Zhang (2018), dans leur revue, ont proposé une typologie distinguant quatre niveaux de guidage pouvant être fourni aux apprenant·es et qui varient

selon le moment de l'apprentissage (avant, pendant, après), le niveau du support, et l'objectif visé : le niveau de guidage minimal, l'entrainement à la réalisation d'un dessin d'apprentissage, les illustrations partiellement fournies, et la comparaison avec une illustration experte.

5.1. Le guidage minimal

Le niveau de guidage minimal correspond à une situation où l'apprenant·e reçoit simplement la consigne de réaliser un dessin dans un but d'apprentissage. Parfois, cette consigne peut être accompagnée d'un exemple ou d'une liste d'éléments à représenter. Aucun entrainement préalable n'est proposé et aucun soutien n'est apporté pendant ou après l'activité d'apprentissage. Autrement dit, l'objectif principal est d'inciter l'apprenant·e à produire un dessin d'apprentissage, sans intervention sur le processus. Les consignes peuvent être plus ou moins détaillées sur le contenu à inclure mais la manière de dessiner est libre pour l'apprenant·e. Par exemple, Alesandrini (1981) a amené les apprenant·es à réaliser des dessins à partir de consignes orientées soit vers des détails spécifiques, soit vers des concepts globaux. Tandis que Hall et al. (1997) ont fournis des consignes précises sur les éléments à inclure dans le dessin, tels que l'emplacement des éléments ou leur taille. La limite de ce niveau de guidage est qu'il n'aide pas à produire des dessins de qualité, car aucun accompagnement ni retour n'est fourni. Cela peut notamment s'avérer particulièrement difficile pour les apprenant·es novices.

5.2. Entrainement à la réalisation du dessin d'apprentissage

Le deuxième niveau de guidage proposé consiste à entrainer les apprenant·es à élaborer des dessins avant l'activité d'apprentissage. Autrement dit, les enseignant·es peuvent fournir aux apprenant·es une formation explicite sur la manière de transformer un texte en dessin, dans un objectif d'apprentissage. Ce guidage intervient donc avant l'activité réelle d'apprentissage, où les apprenant·es seront amené·es à réaliser le dessin par elleux-mêmes. Il permet de fournir aux apprenant·es des connaissances et techniques sur la stratégie de dessin, et ainsi de réduire la charge cognitive extrinsèque et améliorer la qualité des dessins produits. En revanche, bien qu'il semble utile pour améliorer la qualité des dessins produits par les apprenant·es, ce guidage a été très peu étudié (Scheiter, Schüler, et al., 2017), ce qui ne permet pas d'apporter des conclusions concernant son efficacité sur l'apprentissage. Par ailleurs, sa mise en œuvre en contexte pédagogique peut nécessiter des temps de préparation et de réalisation importants.

5.3. Illustrations à compléter

Le troisième type de guidage proposé consiste à fournir aux apprenant·es, pendant la phase d'apprentissage, des illustrations déjà partiellement complétées (figure de fond, éléments visuels clés) qu'iels doivent terminer à partir d'un contenu pédagogique. Cette approche a pour fonction principale de contraindre et structurer la construction de dessin, de réduire la charge cognitive et d'améliorer la précision des dessins produits. En limitant l'effort nécessaire pour organiser l'espace et placer les éléments, ce type de guidage permet aux

apprenant·es de se concentrer davantage sur le contenu et les relations conceptuelles, plutôt que sur l'organisation et l'esthétique du dessin.

Plusieurs études ont montré que ce type d'aide permet aux apprenant·es de produire des dessins de bonne qualité et ainsi améliorer la mémorisation et le transfert comparativement aux apprenant·es qui apprennent à partir d'un texte illustré (Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2010). Tandis que d'autres travaux obtiennent des résultats mitigés (Hellenbrand et al., 2019; Schmidgall et al., 2020). Récemment, Jamet et Michinov (2022) ont menées deux études sur les effets de soutien visuel ou verbal dans l'apprentissage par le dessin. La première étude a montré que le soutien par illustration partielle à compléter n'améliore pas les performances d'apprentissage. En accord avec les travaux de Schmidgall et al. (2020) et Cromley et al. (2020), ce résultat suggère que la réduction du nombre d'éléments à compléter diminue l'engagement dans les processus génératifs de sélection et d'intégration, nécessaires à la compréhension. A l'inverse, la seconde étude indique qu'un soutien verbal favorise la qualité des dessins et la mémorisation des informations illustrées en orientant la construction de la représentation sans la contraindre. Rochat, Jamet et Michinov (2022) ont également examiné les effets d'un guidage verbal lors d'une activité de dessin d'apprentissage sur tablette auprès d'élèves du secondaire réparties dans trois conditions : illustrations fournies, dessin sans soutien, et dessin avec soutien verbal. Les résultats montrent que le support améliore la qualité des dessins et la précision du monitoring, mais pas la compréhension ni la mémorisation des informations du texte utiles au dessin. En revanche, le guidage verbal semble avoir détourné l'attention des autres éléments du texte, moins utiles pour le dessin. Ainsi, ces études s'accordent sur le fait que l'efficacité du guidage dépendrait de la capacité à stimuler la génération plutôt que de la quantité d'informations visuelles

fournie. Bien que le guidage verbal ne figure pas parmi les niveaux de guidage proposés par Fiorella et Zhang (2018), les résultats de cette étude récente soulignent l'intérêt de prendre en compte ce type de guidage, dont les effets apparaissent complémentaires à ceux de l'illustration fournie.

5.4. Comparaison avec une illustration fournie

Ce dernier type de guidage consiste à amener les apprenant·es à comparer leur propre dessin à une illustration fournie par l'enseignant·e dans le matériel pédagogique. Cette illustration peut être accompagnée de questionnement guidé. Ce type de guidage intervient généralement après la réalisation du dessin et vise à aider les apprenant·es à repérer les différences et/ou erreurs par rapport à une représentation experte, afin d'améliorer leur compréhension et d'affiner leurs représentations interne et externe. L'intérêt principal de ce type de guidage est donc de fournir un feedback visuel permettant à l'apprenant·e de réviser son dessin. Cela peut stimuler l'auto-évaluation et la mise en place de processus métacognitif (Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006). En revanche, ce guidage suppose que l'apprenant·e soit capable d'identifier et de corriger ses erreurs à partir de la comparaison. Les résultats de la littérature montrent des effets positifs sur la précision et la complétion de dessin, mais les bénéfices sur la compréhension ne sont pas toujours retrouvés (Schmeck et al., 2014). L'efficacité de ce guidage semble meilleure lorsque la comparaison est accompagnée de consignes explicites qui guide l'apprenant·e dans sa comparaison avec l'illustration experte (Hellenbrand et al., 2019).

6. L’usage de supports numériques pour enrichir l’activité de dessin

La partie précédente souligne l’importance du guidage dans la mise en œuvre de la stratégie de dessin. La nécessité d’un guidage adapté pour soutenir la stratégie de dessin conduit à explorer de nouvelles formes d’accompagnement, notamment à travers les outils numériques. Plusieurs travaux ont intégré le dessin dans ce type d’environnement, tels que le dessin sur tablette ou le dessin à partir de visuels de types animations par exemple. Toutefois ces recherches restent encore trop peu nombreuses pour en dégager des conclusions solides.

6.1. Dessiner à partir d’un modèle dynamique

Quelques travaux récents ont étudié la stratégie de dessin à partir de cours sous format animation vidéo. Cependant, les résultats disponibles sont mitigés, soulignant la complexité de générer un dessin à partir d’un support combinant des informations visuelles et transitoires (Lawson & Mayer, 2024; Ploetzner & Fillisch, 2017). Certaines études montrent que le dessin peut effectivement favoriser la compréhension lorsqu’il accompagne la consultation de l’animation (Bobek & Tversky, 2016; Mason et al., 2013; Y. Zhang et al., 2023). Mason, Lowe et Tornatora (2013) ont montré que la génération de dessin à partir d’une animation scientifique complexe améliorait la compréhension immédiate et différée, comparativement à des conditions de copie ou d’observation passive, et en particulier chez des apprenant·es ayant de faibles capacités spatiales. Les apprenant·es ayant produit des dessins parvenaient mieux à identifier et à intégrer les éléments essentiels. Des résultats similaires ont été observés par

Bobek et Tversky (2016), pour qui la création d'explications visuelles permet d'approfondir le traitement des structures et processus dynamiques.

D'autres études, en revanche, nuancent ces effets positifs. Ploetzner et Fillisch (2017) ont montré que, face à des animations spatio-temporelles complexes, le dessin pouvait au contraire entraver la compréhension globale, les apprenant·es se focalisant sur des détails locaux au détriment de la structure d'ensemble. De même, Lawson et Mayer (2024) ont observé que, dans le cadre de leçons animées, la stratégie de dessin n'apportait aucun bénéfice significatif par rapport à une condition contrôle, alors que la rédaction de résumés se révélait plus efficace pour favoriser un traitement génératif en profondeur. Demander aux apprenant·es de générer un dessin ne semblait pas les motiver à s'engager dans un traitement efficace. Selon les auteur·es, le dessin n'est peut-être pas efficace pour l'apprentissage de contenu dynamique parce que les apprenant·es ne sont pas motivé·es à s'engager dans la transformation d'une représentation déjà visuelle en leur propre image. Au lieu de cela, les apprenant·es sont tenté·es de copier les éléments présents dans l'animation sans établir de liens entre le visuel et le verbal.

Un facteur clé ressort néanmoins de plusieurs travaux récents : la segmentation des vidéos. Zhang et al. (2023) ont montré que l'efficacité du dessin à partir de vidéos dépend du design du support animé. Dans leur étude, les apprenant·es ne bénéficiaient du découpage en segments qu'à condition d'être invité·es à dessiner pendant la vidéo. Le niveau de précision des dessins produits médiatisait les performances d'apprentissage, indiquant que la segmentation et la qualité du dessin interagissent pour soutenir le traitement cognitif. Ce résultat converge avec l'idée que la gestion de la charge cognitive liée à la nature transitoire des animations est essentielle pour permettre aux apprenant·es de tirer profit de la stratégie

de dessin. Si les travaux sur le dessin à partir d'animations montrent la complexité des interactions entre le support dynamique et la stratégie générative, elles soulignent aussi la nécessité d'examiner l'intégration d'outils dans le contexte de l'apprentissage par le dessin. Quelques études ont été réalisées sur support numérique.

6.2. Effets du support de dessin

Cromley et al. (2020) ont conduit une méta-analyse comparant les effets du support numérique à ceux du dessin sur papier-crayon. Leurs résultats indiquent aucune différence significative entre les deux types de supports en termes de performances d'apprentissage. Toutefois, les études incluses dans cette synthèse portaient majoritairement sur des activités réalisées à l'aide d'un ordinateur et d'une souris. Les auteur·es suggèrent que cette absence de différence pourrait s'expliquer par la complexité motrice engendrée par le dessin à la souris. Jusqu'à maintenant, peu d'études concernant l'apprentissage par le dessin incluent l'utilisation de systèmes innovants. Or, la popularité des tablettes et leur intégration dans les établissements scolaires semblent clairement montrer des atouts majeurs pour les contextes d'apprentissage et apporter des bénéfices autant pour les enseignant·es que pour les apprenant·es. Dans une revue de littérature, Haßler, Major et Hennessy (2016) ont référencé les études s'intéressant à l'usage de la tablette et ses facteurs contribuant à des résultats d'apprentissage positifs. Ces résultats se justifient par la conception même de l'outil. La tablette présente les qualités d'un ordinateur portable, permettant notamment le stockage de nombreux fichiers et la prise de notes sur clavier intégré mais se rapproche également des outils traditionnels avec la possibilité d'utiliser un stylet pour écrire, dessiner, ou annoter directement les contenus. Les fonctionnalités de la tablette permettent également un accès

rapide, quasi instantané à toutes sortes d'informations et d'aides pouvant venir soutenir l'enseignement (Goodwin, 2012). La personnalisation de nombreux paramètres comme le zoom, la taille de l'écriture et l'orientation de l'écran peut aussi permettre à chacun d'ajuster les contenus et de les adapter à leurs propres besoins (Cumming et al., 2014; Dündar & Akçayır, 2012; Gasparini & Culén, 2012). Les tablettes ont également l'avantage d'être faciles à transporter, notamment grâce à leur poids et leur taille, ce qui permet aux apprenant·es d'accéder à l'apprentissage à n'importe quel moment et lieu. Par ailleurs, comparativement aux outils traditionnels ou autres outils numériques, l'écran tactile facilite la manipulation des contenus par les apprenant·es avec des expériences kinesthésiques impactant positivement l'engagement des apprenant·es dans la tâche d'apprentissage (McClanahan et al., 2012).

L'intégration des tablettes dans les environnements éducatifs semble donc apporter des bénéfices tant pour les apprenant·es que pour les enseignant·es (Goodwin, 2012; Haßler et al., 2016). Leur facilité d'usage et leurs multiples fonctionnalités offrent la possibilité d'enrichir les expériences d'apprentissage en favorisant la création de contenus pédagogiques variés et interactifs, tout en soutenant le développement de méthodes d'apprentissage actives et engageantes. Plusieurs travaux indiquent des effets positifs sur l'acquisition des connaissances (Lai et al., 2007) et la motivation (Ciampa, 2014; Furió et al., 2015; Goodwin, 2012).

Les tablettes équipées d'un stylet permettent aujourd'hui de réaliser des dessins complexes de manière précise et efficace, tout en conservant la dimension active et créative propre à cette stratégie. Malgré leur potentiel, l'impact des tablettes sur des stratégies cognitives actives, comme le dessin d'apprentissage, reste encore peu exploré. Quelques études récentes ont toutefois commencé à examiner cette question en intégrant ce type de support dans leurs dispositifs expérimentaux. Jamet et Michinov (2022) et Rochat et al. (2022) ont utilisé la

tablette avec stylet comme support, soulignant l'intérêt de l'outil pour faciliter la mise en œuvre de la stratégie de dessin. De leur côté, Styn et al. (2023) ont montré que la qualité de mise en œuvre de la stratégie joue un rôle clé. Leur étude, menée auprès d'étudiant·es en médecine, révèle que le dessin sur tablette conduit à de meilleures performances de rappel différé que le dessin sur papier-crayon, à condition que les dessins produits soient de bonne qualité. En revanche, lorsque la qualité des dessins est faible, les performances sont inférieures à celles observées sur papier-crayon. Cela suggère que l'efficacité du support numérique dépend non seulement de la tâche et du contexte, mais aussi de la maitrise de la stratégie de dessin et de l'outil. Ce constat est en accord avec l'étude de Lombard et al. (2021) qui confirme que les bénéfices d'un environnement numérique apparaissent uniquement lorsque les apprenant·es sont explicitement guidé·es dans l'utilisation des fonctionnalités de l'outil.

En conclusion, les travaux consacrés à l'intégration du dessin dans des environnements numériques montrent que ces outils offrent des opportunités intéressantes pour enrichir la stratégie de dessin, mais que leur efficacité dépend des conditions de leur mise en œuvre. Les études convergent pour souligner que le numérique est bénéfique lorsqu'il soutient les processus cognitifs et métacognitifs impliqués dans la stratégie générative de dessin, notamment grâce à un guidage adapté.

7. Conclusion du Chapitre 3

L'ensemble de ce chapitre a permis de préciser les fondements théoriques de la stratégie d'apprentissage par le dessin. Il a mis en évidence que le dessin peut constituer une stratégie générative efficace. Les études montrent qu'il peut améliorer la compréhension et la mémorisation, tout en soutenant la métacognition, bien que son efficacité dépende de nombreux facteurs modérateurs tels que les capacités spatiales, les connaissances préalables ou la qualité des dessins. Ces résultats soulignent la nécessité de guider la stratégie de dessin pour en maximiser les bénéfices et limiter la charge cognitive. Dans cette perspective, les supports numériques offrent de nouvelles possibilités pour enrichir et accompagner cette activité. Toutefois, les études incluant des outils innovants sont encore trop peu nombreuses.

Problématique

Comme indiqué dans le premier chapitre, l'apprentissage de l'anatomie constitue un enjeu majeur dans la formation en santé. Cette discipline est relativement complexe et repose en grande partie sur la capacité des apprenant·es à comprendre, mémoriser et manipuler des structures visuelles. Elle mobilise ainsi des compétences verbales et visuospatiales, permettant de comprendre l'organisation du corps humain et d'établir des liens entre les différentes structures anatomiques qui le compose (Chevallier, 2016; Drake et al., 2025). Dans ce contexte, les représentations visuelles jouent un rôle central et les enseignements s'appuient traditionnellement sur des supports illustrés, lors de cours magistraux ou lors de session de dissection (Estai & Bunt, 2016). Cependant, ces approches présentent certaines limites. Les cours magistraux tendraient à favoriser une attitude d'écoute passive, tandis que les séances de dissection, bien qu'offrant une expérience concrète soulèveraient des contraintes éthiques, logistiques et financières (Borrelli et al., 2018; Gross et al., 2017; Naug et al., 2011; Pickering & Swinnerton, 2019). Par ailleurs, les réformes récentes des programmes de formation en santé ont conduit à une réduction du volume horaire dédié à l'anatomie (Pickering, 2015; Sweeney et al., 2014). Face à ces enjeux, l'enseignement de l'anatomie a connu une évolution marquée par de nouvelles approches pédagogiques actives et d'outils numériques destinés à favoriser l'engagement et la compréhension des apprenant·es (Gross et al., 2017; Peart, 2022; Pickering & Swinnerton, 2019). Dans cette perspective, l'activité de dessin peut apparaitre comme une stratégie d'apprentissage pertinente pour l'apprentissage de l'anatomie. En dessinant, les apprenant·es reconstruisent activement les structures anatomiques. Cette activité les engagerait dans un traitement cognitif de l'information,

favoriserait l'organisation des connaissances et soutiendrait en conséquence la formation de représentations mentales cohérentes (Ainsworth et al., 2011).

Comme il a été présenté en chapitre 3, depuis plusieurs années, des études explorent la mise en œuvre de cette activité d'apprentissage par le dessin et analysent ses effets sur la qualité des apprentissages. S'inscrivant dans les apports présentés en chapitre 2 sur l'apprentissage à partir de documents multimédias, les premiers travaux montrent qu'amener les étudiant·es à produire des dessins lors de l'apprentissage d'un texte scientifique ou d'un modèle, plutôt que de l'apprendre uniquement par la visualisation d'une illustration ou d'un schéma explicatif, permet d'améliorer la qualité des apprentissages des étudiant·es (Hall et al., 1997; Leopold & Leutner, 2012). Cet effet positif s'explique par les processus cognitifs mis en œuvre lors de l'activité de dessin. Cette dernière permettrait aux apprenant·es d'effectuer des traitements cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration efficaces à l'encodage des informations en mémoire et à la compréhension. Paradoxalement, les études montrent que ces traitements cognitifs peuvent être particulièrement coûteux, notamment chez les apprenant·es manquant de connaissances préalables sur le sujet étudié. Van Meter et Garner (2005) ont donc relevé l'importance de la qualité des dessins produits et la nécessité de guider les apprenant·es dans la construction de leur dessin d'apprentissage. Elles suggèrent que l'efficacité de la réalisation de dessin sur l'apprentissage dépendrait de la capacité des apprenant·es à représenter avec précision les concepts étudiés. Les guider leur permettrait de mobiliser les processus cognitifs appropriés pour contrôler la qualité de leur dessin ainsi que de réduire la charge cognitive engendrée par cette activité.

De nombreuses études se sont intéressées aux supports de guidage pouvant être fournis aux apprenant·es (Fiorella & Zhang, 2018). Parmi ces études, les méthodologies sont variées et

plusieurs niveaux de guidages sont testés. Il s'agit d'instructions données avant la construction du dessin (Hall et al., 1997; Leopold & Leutner, 2012), d'illustrations partiellement fournies que les étudiant·es doivent compléter lors de l'apprentissage (Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2020; Schwamborn et al., 2010), d'un guidage verbal accompagnant l'activité de dessin (Jamet & Michinov, 2022; Rochat et al., 2022), ou bien d'illustrations fournies après l'activité de dessin et laissant la possibilité aux apprenant·es de réviser leur propre dessin en fonction des comparaisons qu'iels font avec l'illustration fournie (Van Meter & Garner, 2005). Ces études montrent que le moment d'introduction du guidage influence la qualité du dessin et de l'apprentissage, toutefois, elles ne permettent pas de déterminer de manière concluante quels types de guidage sont les plus efficaces (Fiorella & Zhang, 2018). Par ailleurs, il apparait que peu de formes de guidages ont été véritablement conçues, comparées et testées dans ces travaux. Dans ce contexte, le numérique ouvre de nouvelles perspectives pour enrichir la mise en œuvre de stratégies de dessin. L'usage de la tablette avec stylet, en particulier, dans ce projet, offre la possibilité de concevoir des guidages dynamiques, interactifs et adaptés, capables d'accompagner les apprenant·es tout au long de l'élaboration de leur dessin, et d'en optimiser les effets sur l'apprentissage.

Inscrite dans le cadre du projet SKETCH, l'objectif de cette thèse est d'étudier l'activité de dessin en tant que stratégie d'apprentissage dans un contexte d'enseignement de l'anatomie. Il s'agit de comprendre comment les apprenant·es mobilisent cette stratégie et quels processus cognitifs elle engage. Plus précisément, en évaluant les effets du dessin sur plusieurs dimensions de l'apprentissage : la mémorisation, la compréhension, la métacognition, et les perceptions des apprenant·es. Ainsi que le rôle des caractéristiques individuelles sur l'efficacité de la stratégie de dessin. Cette thèse cherche à identifier les

conditions dans lesquelles le dessin constitue une stratégie efficace pour soutenir l'apprentissage. C'est-à-dire en évaluant différents types de tâches de dessin, différents formats de contenus (anatomie descriptive, anatomie fonctionnelle ou physiologie), et différents supports fournis. Pour cela, cinq études ont été menées et sont décrites dans les chapitres suivants. Les deux premières études analysent l'effet d'une activité de recopie sur les performances d'apprentissage et sur la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es, en comparant une condition avec activité de dessin à une condition sans dessin (voir Chapitre 4). La troisième étude affine cette analyse en séparant les phases de consultation et de génération pendant l'apprentissage, en manipulant leur ordre, et en distinguant explicitement les effets du dessin sur les informations textuelles et illustrées (voir Chapitre 5). La quatrième étude compare trois conditions d'apprentissage (une condition contrôle sans dessin, une condition de dessin réalisé par recopie, et une condition de dessin réalisé de mémoire) afin d'évaluer les effets potentiels d'une difficulté désirable. Cette étude examine notamment l'effet des différentes modalités d'activité de dessin sur les performances d'apprentissage, la charge cognitive, l'intérêt et la précision des auto-évaluations (voir Chapitre 6). Enfin, la dernière étude explore le rôle des capacités spatiales des apprenant·es comme facteur modérateur de l'efficacité des différentes modalités de dessin : recopie, dessin de mémoire (voir Chapitre 7). Ainsi, l'ensemble des travaux présentés dans les chapitres suivants vise à examiner comment et dans quelles conditions, la stratégie d'apprentissage par le dessin réalisé sur tablette peut constituer un moyen efficace pour soutenir l'apprentissage de contenus anatomiques.

Partie II – Partie expérimentale

Préambule

1. Présentation du logiciel IntuiSKETCH

Le logiciel développé dans le cadre du projet SKETCH est un outil numérique qui a été spécifiquement conçu pour permettre l'apprentissage de l'anatomie par le dessin. Il vise à soutenir à la fois la création de contenus et d'activités pédagogiques par les enseignant·es, et la mise en œuvre d'un apprentissage actif par les apprenant·es. Par ailleurs, il est développé pour être utilisé sur tablette avec stylet et reproduit les conditions d'un dessin avec outils traditionnels (papier-crayon).

Comme indiqué dans le Chapitre 1 partie 2, le logiciel a été pensé et conçu à partir d'une démarche participative, fondée sur les retours des enseignant·es concernant leurs besoins en termes de pédagogie, sur l'analyse des attentes et besoins des apprenant·es, ainsi qu'en fonction des objectifs du projet SKETCH. Cette co-construction a permis d'adapter l'outil à la réalité du terrain pédagogique tout en veillant à son utilité et sa compatibilité avec les pratiques d'enseignements. Des adaptations ont été réalisées au fur et à mesure du projet.

1.1. Architecture globale du système IntuiSKETCH

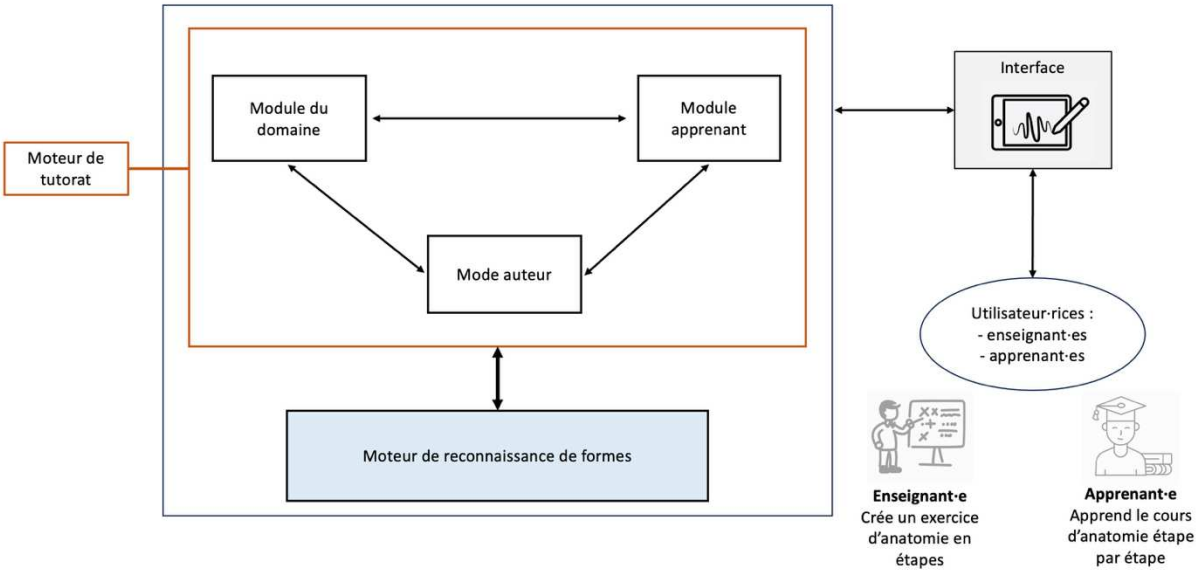
L'architecture globale du système (voir Figure 6), telle qu'elle a été pensée pour les objectifs du projet SKETCH, repose sur deux moteurs : **un moteur de tutorat** (responsable de la création d'exercices et de la supervision de l'apprenant·e) et **un moteur de reconnaissance de formes** (chargé d'interpréter les tracés). **Le moteur de tutorat** repose sur trois modules :

- **Le module auteur :** destiné aux enseignant·es, permet de concevoir des activités d'apprentissage. L'enseignant·e peut y créer un dessin anatomique qui servira de modèle, segmenter la tâche en différentes étapes, et nommer chacune des structures anatomiques dessinées. Ce module permet également de paramétrer l'activité.
- **Le module apprenant :** fourni le modèle de référence créé par l'enseignant·e dans le module auteur et fourni une zone active de dessin à l'apprenant·e. L'interface comprend une zone de dessin et une barre d'outils pour réaliser le dessin. Le module peut également analyser le dessin en cours de réalisation, le comparer au dessin de référence, et fournir des aides dans une zone dédiée.
- **Le module du domaine :** représente la base de connaissance du système tutoriel. Dans SKETCH, cette connaissance est hybride et évolutive : elle repose à la fois sur une base générique construite par un·e expert·e et sur des connaissances extraites automatiquement du croquis réalisé par l'enseignant·e dans le module auteur.

Cette architecture permet de distinguer deux modes de support :

- **Un mode pseudo-tuteur (tutorat statique) :** qui simule le comportement d'un système tutoriel sans recourir à l'intelligence artificielle.
- **Un mode de tutorat dynamique (avec intelligence artificielle) :** fondé sur la reconnaissance automatique des formes, permettant d'offrir des aides et feedbacks adaptatifs en temps réel.

Figure 6.
Architecture globale du logiciel IntuiSKETCH.



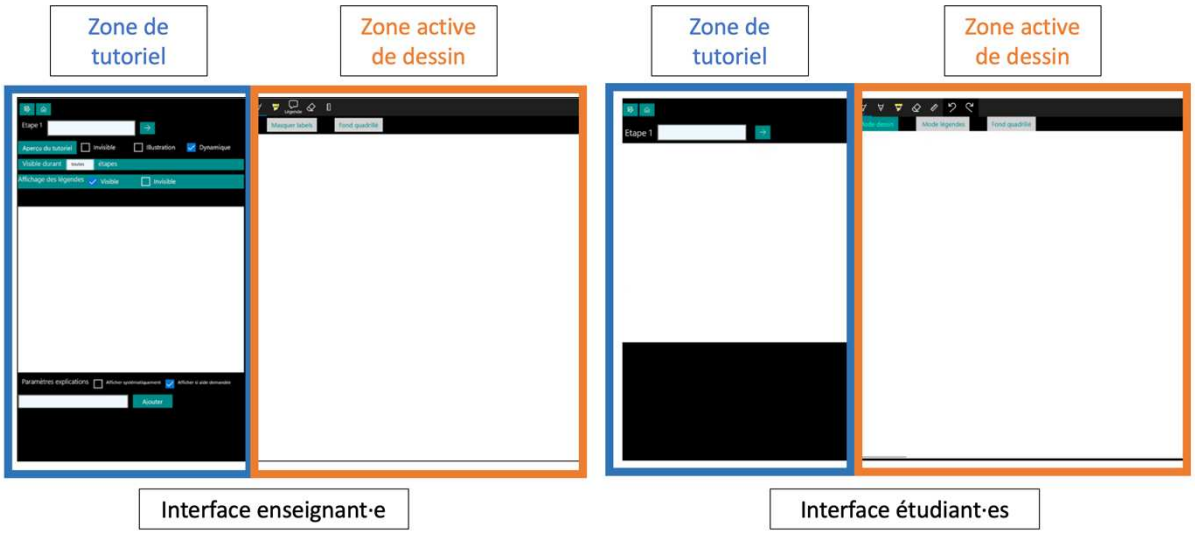
Dans le cadre de cette thèse, seul le mode pseudo-tuteur a été utilisé. Le moteur de reconnaissance de formes, développé dans le cadre d'une thèse en informatique, nécessitait un temps de développement important et son intégration n'était prévue qu'en fin de projet. Par conséquent, les expérimentations menées dans cette thèse ne reposent sur aucune intelligence artificielle, mais uniquement sur le fonctionnement du pseudo-tuteur.

1.2. IntuiSKETCH tel qu'utilisé dans les expérimentations de la thèse (mode pseudo-tuteur)

Comme expliqué précédemment, le logiciel utilisé dans les expérimentations de cette thèse reposait sur le pseudo-tuteur, constitué des modules : *auteur* pour les enseignant·es, et *apprenant* pour les étudiant·es. Bien que leurs fonctionnalités diffèrent, les deux interfaces présentent une organisation générale similaire. Dans chacune des interfaces, l'écran est divisé en deux zones : une zone de tutoriel située sur la partie gauche, qui affiche le contenu

pédagogique, et une zone active de dessin située sur la partie droite, où se déroule la réalisation du dessin (voir Figure 7). Des vidéos de présentation du logiciel sont disponibles et consultables sur le site dédié au projet SKETCH : https://www.lp3c.fr/sketch.

Figure 7.
Présentation des interfaces enseignant·e et apprenant·e.



1.2.1. Module auteur (interface pour les enseignant·es)

L'interface enseignant·e, appelée « module auteur », est dédié à la conception pédagogique de l'activité d'apprentissage. Elle permet aux enseignant·es de créer des contenus d'apprentissage et des exercices de dessin anatomiques adaptés à leurs objectifs.

Dans ce mode, l'enseignant·e peut élaborer un contenu d'apprentissage en représentant visuellement une ou plusieurs structures anatomiques et en leur associant des explications textuelles. Plusieurs paramètres sont modulables : la segmentation du contenu en étapes, les modes d'affichages de l'illustration et du texte (statique ou dynamique), le type d'activité de dessin qui devra être réalisé par les apprenant·es.

Dans l'ensemble des études menées, le cours a été conçu de manière segmentée (voir Figure 8). Il s'agit d'un choix établi dès le début du projet et du développement du logiciel afin de limiter la surcharge cognitive en guidant progressivement la construction des connaissances. L'effet de la segmentation n'est donc pas étudié, puisqu'il est systématiquement appliqué dans toutes les études et pour toutes les conditions expérimentales.

Figure 8.
Exemple de segmentation en étapes pour le cours sur l'anatomie de l'œil construit par les enseignants.

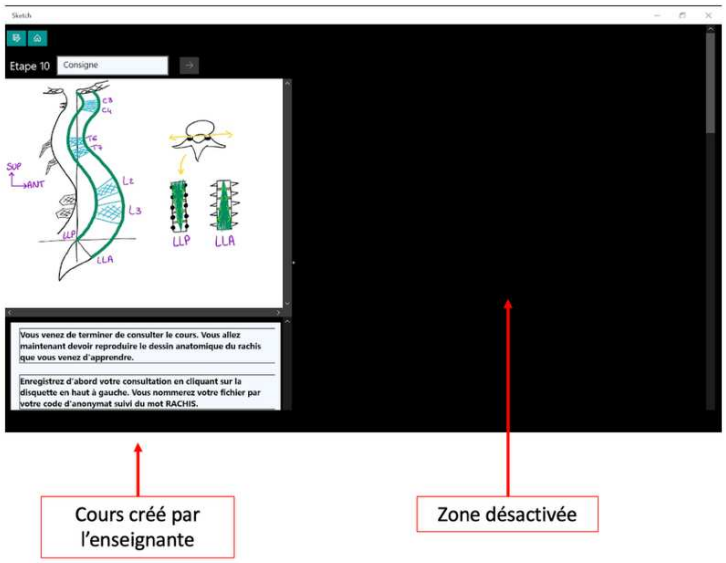


1.2.1.1. Choix du type d'activité de dessin

L'enseignant·e peut choisir de faire dessiner l'étudiant·e à partir d'un modèle qui reste affiché ou non. Ces différentes activités correspondent aux conditions expérimentales qui seront testées dans les travaux de cette thèse (dessin par recopie, dessin de mémoire, etc.). Il existe plusieurs modes d'activité : le mode consultation, le mode recopie et le mode mémorisation.

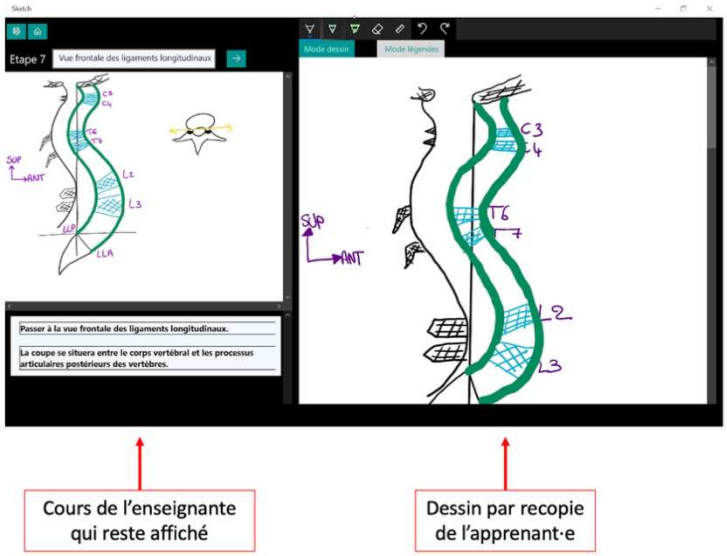
- **Le mode consultation :** la zone de dessin est inactive, les apprenant·es consultent uniquement le cours, étape par étape, sans réaliser d'activité de dessin pendant l'apprentissage (voir Figure 9).

Figure 9.
Capture d'écran du mode consultation.



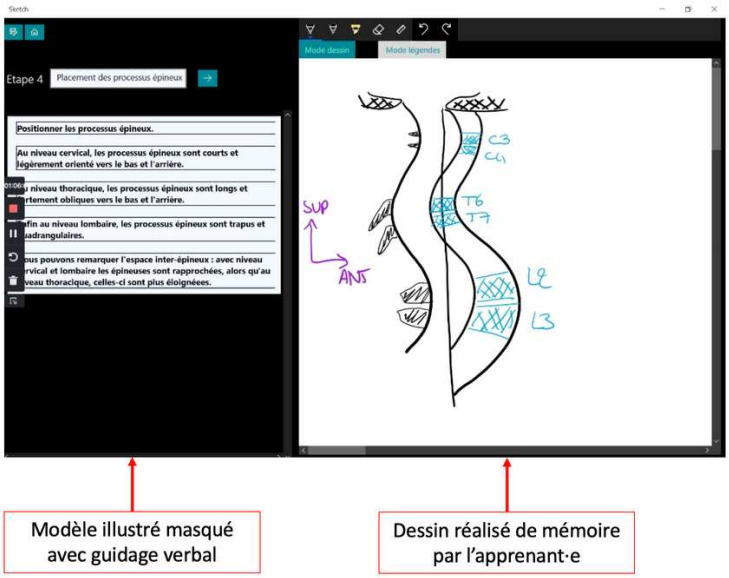
- **Le mode recopie :** la zone de dessin est active. Les apprenant·es réalisent un dessin pendant l'apprentissage avec l'illustration qui reste affichée. Iels dessinent donc par recopie (voir Figure 10).

Figure 10.
Capture d'écran du mode recopie.



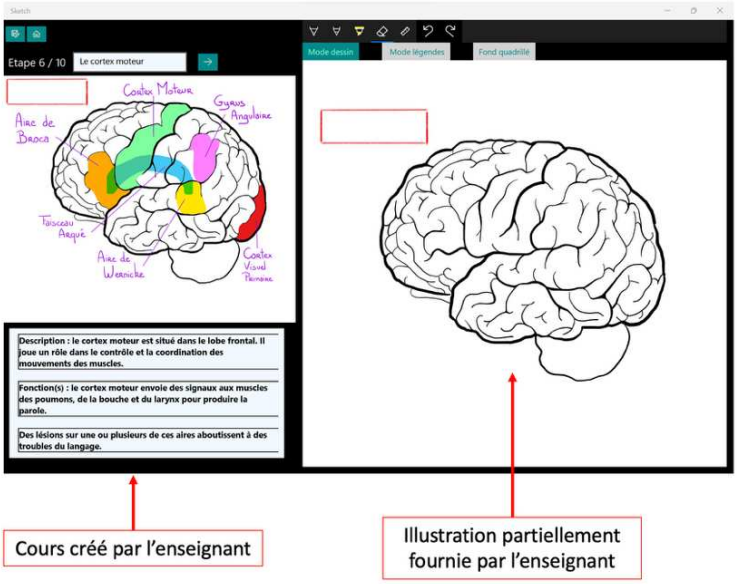
- **Le mode mémorisation :** la zone de dessin est active. Les apprenant·es dessinent pendant l'apprentissage. Lorsqu'iels commencent à dessiner, l'illustration du cours se cache (écran noir) pour que l'apprenant·e dessine ce qu'iel vient d'apprendre de mémoire (voir Figure 11). L'enseignant·e peut choisir de maintenir l'affichage du texte explicatif pour fournir un guidage verbal, ou de le masquer.

Figure 11.
Capture d'écran du mode mémorisation.



- **Choix d'une illustration partiellement fournie :** cet outil permet à l'enseignant·e d'afficher une partie de l'illustration que l'apprenant·e sera amené à compléter (voir Figure 12).

Figure 12.
Capture d'écran de la zone de dessin avec illustration partiellement fournie.



1.2.1.2. Paramétrage des phases d'apprentissage

Chaque cours peut être suivi une seule fois par l'apprenant·e. Mais il est également possible de programmer un second visionnage en faisant varier les paramètres associés à chaque phase (type d'activité, mode d'affichage ou ordre de présentation). Ce système de double phase permet de créer différentes combinaisons pédagogiques selon les objectifs visés :

- **Consultation-Consultation :** les apprenant·es consultent le contenu du cours à deux reprises, étape par étape. Autrement dit, une phase de consultation peut être rejouée une seconde fois.
- **Consultation-Dessin :** cette configuration permet de séparer les phases de consultation et de dessin. Dans un premier temps, les apprenant·es consultent le cours sans activité de dessin. Dans un second temps, le cours est rejoué et les apprenant·es réalisent l'activité de dessin, soit en mode recopie, soit en mode mémorisation.
- **Dessin-Consultation :** inversement, il est possible de proposer une première phase de dessin (en recopie ou en mémorisation), suivi d'une seconde phase de consultation.

Les études de cette thèse intègrent les différents modes de support proposés par le logiciel. Les choix de combinaisons entre les phases d'apprentissage, ainsi que les paramètres de guidage associés, seront présentés et justifiés dans chaque étude.

1.2.2. Module apprenant (interface pour les étudiant·es)

L'interface étudiant·e est conçue pour favoriser l'engagement actif dans l'apprentissage par le dessin. Elle reprend la même architecture générale que le mode auteur, en étant structurée en deux zones principales (voir Figure 13).

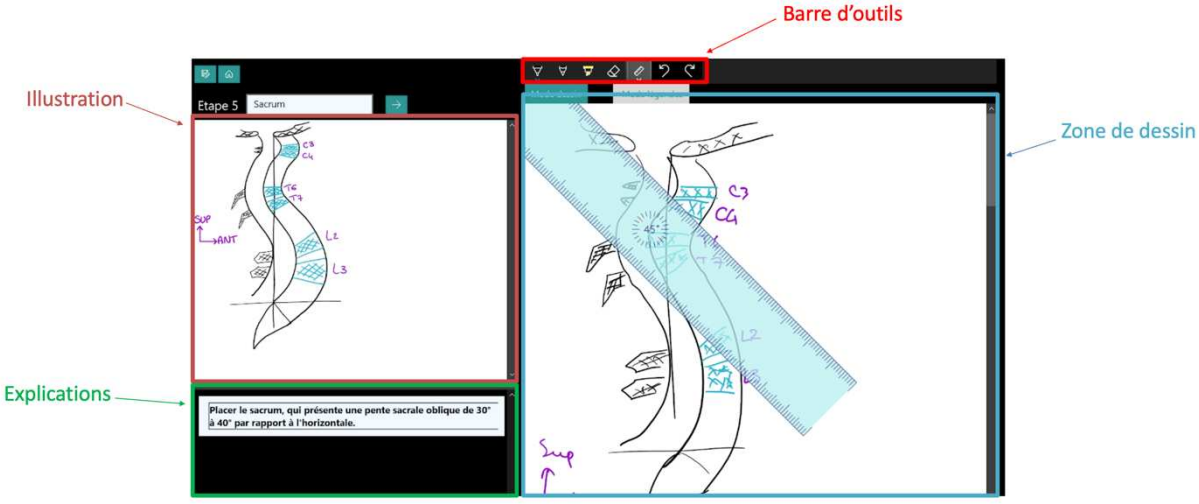
La partie gauche de l'écran : présente le contenu du cours d'anatomie, préalablement créé dans le mode auteur. Cette zone se divise en deux sous-sections :

- **La zone supérieure** affiche le modèle anatomique à étudier : pouvant être visualisé de manière statique ou dynamique.
- **La zone inférieure** contient le texte explicatif associé à l'illustration affichée.

Le contenu est segmenté en plusieurs étapes progressives, permettant à l'étudiant·e d'avancer à son propre rythme et de réguler son apprentissage.

La partie droite qui correspond à la **zone active de dessin** dans laquelle l'apprenant·e réalise la tâche de dessin liée au contenu étudié. Cette zone comprend une barre d'outils située en haut de l'espace de dessin, offrant différentes options de personnalisation du tracé : choix du type de crayon, ajustement de l'épaisseur du trait, sélection de la couleur, utilisation d'une gomme ou d'une règle, annulation ou rétablissement d'une action, et fonction de zoom pour un travail de précision.

Figure 13.
Présentation de l'interface apprenant·e.



2. Créations du matériel d'apprentissage

2.1. Créations des contenus pédagogiques

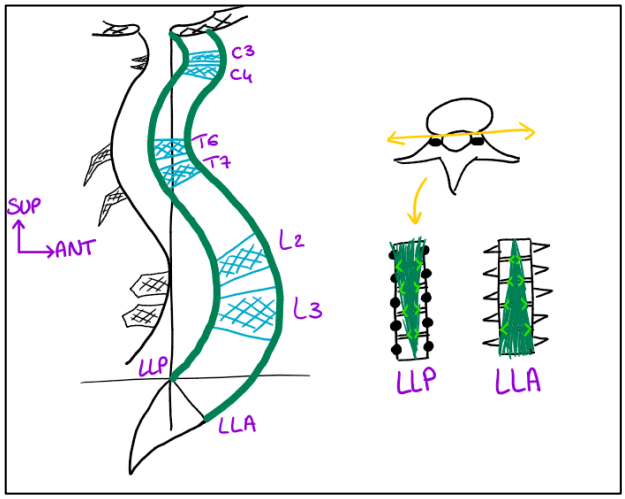
Plusieurs contenus pédagogiques ont été conçus spécifiquement pour les différentes études du projet SKETCH, en étroite collaboration avec les enseignant·es en anatomie des deux instituts de formation partenaires, l'IFPS et l'IFPEK. Chaque contenu a été élaboré à partir des demandes précises des enseignant·es, et a nécessité des échanges réguliers sur plusieurs mois afin de produire des supports d'apprentissage à la fois adaptés aux besoins pédagogiques des enseignant·es et des étudiant·es, et conformes aux exigences méthodologiques du projet.

Les expérimentations étant intégrées aux cours d'anatomie de chaque institut, les enseignant·es ont sélectionné les thématiques en fonction de leurs spécialités et de leurs objectifs d'enseignement. Ainsi, chaque activité s'inscrivait pleinement dans le programme de formation des étudiant·es de première et deuxième année, garantissant la pertinence scientifique et pédagogiques des contenus. Cette approche garantit également que les expérimentations soient menées dans des conditions écologiques, c'est-à-dire proches des contextes réels d'apprentissage.

Les contenus d'apprentissage construits sont les suivants :

- **Cours sur les ligaments longitudinaux du rachis** (voir Figure 14) :

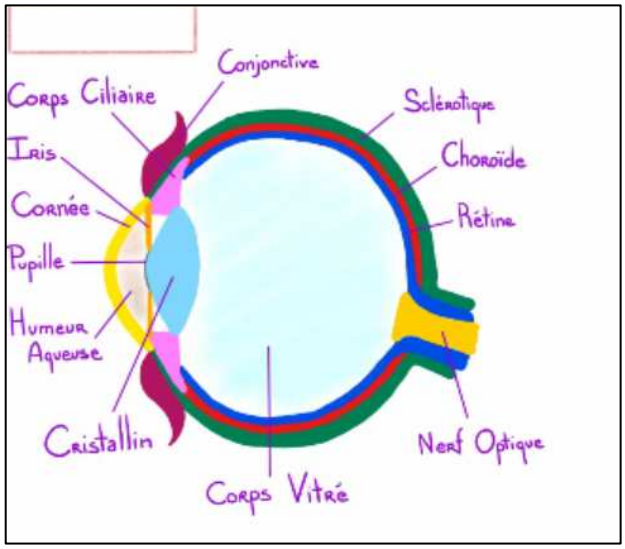
Figure 14.
Dessin de l'enseignante pour le cours sur les ligaments longitudinaux du rachis.



Ce contenu, créé pour **les étudiant·es en deuxième année de kinésithérapie (IFPEK),** porte principalement sur le placement des ligaments longitudinaux du rachis. Il propose une démarche dynamique et progressive en 9 étapes permettant aux apprenant·es de réaliser un croquis en positionnant les courbures, les vertèbres, les disques intervertébraux, les processus épineux et les ligaments (voir Annexe A).

- **Cours sur l'anatomie de l'œil** (voir Figure 15) :

Figure 15.
Dessin des enseignants pour le cours sur l'anatomie de l'œil.

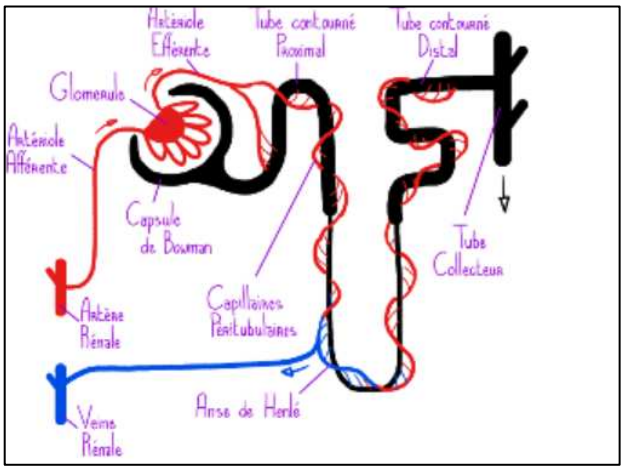


Destiné aux **étudiant·es de première année en soins infirmier·es (IFPS),** ce contenu décrit en 6 étapes les différentes structures constituant l'œil ainsi que leurs caractéristiques (voir Annexe B). Les illustrations de ce contenu sont statiques à chaque étape.

- **Cours sur le rein et le fonctionnement du néphron** (voir Figure 16) :

Ce contenu, conçue pour **les étudiant·es de deuxième année en soins infirmier·es (IFPS)**, présente l'unité fonctionnelle du rein : le néphron. Il s'agit d'un contenu de physiologie présenté de manière dynamique. Il propose à la fois une description anatomique du placement des éléments les uns par rapport aux autres ainsi qu'une explication du fonctionnement du néphron et du fonctionnement de ses composants. Le cours est segmenté en 8 étapes (voir Annexe C).

Figure 16.
Dessin de l'enseignant pour le cours du fonctionnement d'un néphron (rein).

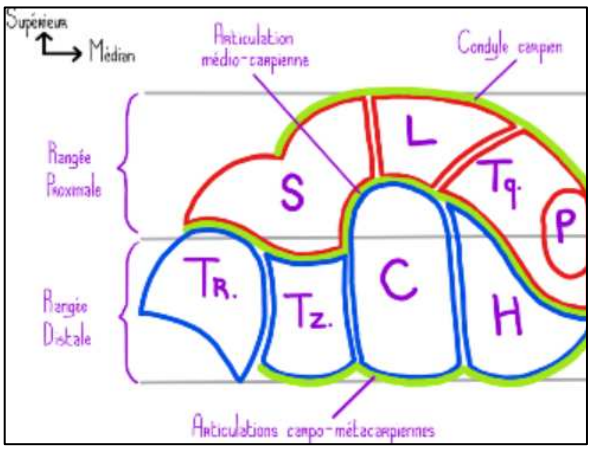


- **Cours sur les os du carpe** (voir Figure 17) :

Élaboré pour **les étudiant·es de première année en kinésithérapie (IFPEK).** Il comprend 10 étapes présentant chaque os du carpe, leur localisation, leur forme et leurs caractéristiques principales.

Bien que ce support ait été utilisé pendant le projet, les expérimentations menées avec ce contenu ne figurent pas dans ce manuscrit. Le contenu est présenté en Annexe D.

Figure 17.
Dessin des enseignant·es pour le cours sur l'anatomie des os du carpe.



Par ailleurs, afin de diversifier les champs d'application et de mener les études ergonomiques du projet, un contenu a également été élaboré en psychologie, portant sur les aires cérébrales impliquées dans la production du langage. Mais ce contenu est hors de la thèse et n'est donc pas présenté dans ce manuscrit. Il est toutefois important de préciser que les études ergonomiques menées avec ce matériel ont également servi de pré-tests pour évaluer les fonctionnalités du logiciel avant les expérimentations de la thèse.

Les contenus des différents cours sont décrits dans les études de la thèse présentés dans les prochains chapitres, et détaillés en annexes. Seul les cours sur les ligaments longitudinaux, l'anatomie de l'œil et le fonctionnement du néphron sont présents dans les études de la thèse.

2.2. Création des questionnaires d'apprentissage

Les mesures d'apprentissage ont été élaborées en collaboration avec les enseignant·es de chaque institut de formation de l'IFPS et de l'IFPEK. L'objectif était de concevoir des questionnaires permettant d'évaluer la mémorisation et la compréhension, afin de mesurer à la fois la restitution des connaissances ainsi que la capacité des apprenant·es à mobiliser ces connaissances dans des situations nouvelles, liées à la formation.

Une première série de questions relative à chaque contenu pédagogique a été rédigée par notre équipe puis soumise à plusieurs prétests au sein du laboratoire. Ces pré-tests visaient à examiner la clarté, le niveau de difficulté et la pertinence des questions. Les questions jugées redondantes, confuses, trop simples, ou, au contraire trop compliquées ont été retirées ou reformulées. Une fois ce premier filtrage effectué, les versions révisées des questionnaires a

été renvoyées aux enseignant·es, qui les ont ensuite corrigés, complétés et ajustés en fonction de leurs objectifs pédagogiques et de leur expertise.

Les **questions de mémorisation** visent à évaluer la restitution d'informations factuelles directement apprises. Elles sont proposées sous plusieurs types de questions :

- **Des questions verbales :** sous forme de QCM ou de questions ouvertes.
- **Des questions visuelles** : telles que des dessins à compléter ou à légender, ou encore sous forme de tâche de dessins, permettant de mesurer la capacité à se représenter et structurer visuellement les éléments appris.

La distinction entre questions verbales et visuelles découle d'un choix méthodologique lié au rôle central que joue l'information visuelle dans l'apprentissage de l'anatomie, où la compréhension des relations spatiales entre les structures est fondamentale. Ce choix et ses fondements théoriques sont détaillés dans les chapitres suivants.

Les questions de compréhension, quant à elles, visent à mesurer la capacité des apprenant·es à transférer le contenu appris à des situations plus concrètes, c'est-à-dire à réutiliser les connaissances dans des contextes proches de problématiques professionnelles (identifier une fonction à partir d'une structure, anticiper une conséquence anatomique ou physiologique, etc.). Ces questions sont exclusivement verbales, soit sous forme de QCM, soit sous forme de questions ouvertes, car elles mobilisent des raisonnements et des inférences, moins compatibles avec un format visuel.

L'ensemble des questionnaires a été conçu pour couvrir tous les éléments présents dans chaque contenu pédagogique, qu'ils proviennent du texte ou des illustrations. Les scores totaux diffèrent donc selon les contenus et les études. Les détails précis des questionnaires

utilisés sont présentés dans les sections « mesures » des prochains chapitres, et leurs versions complètent figurent en annexes.

3. Éthique de la recherche

Les protocoles de recherche des expérimentations de cette thèse ont été soumis au comité d'éthique de l'Université Rennes 2 (Annexe E). Aucune information sur le nom des participant·es aux études n'a été collectée. Pour garantir l'anonymat des participant·es, un code d'anonymat a été construit pour chaque participant·e qu'iels est seul à connaitre. Ce code d'anonymat (présent en Annexe F, par exemple) a permis de relier les données obtenues aux différents questionnaires et aux activités réalisées sur le logiciel et sur la tablette. En effet, il était demandé aux étudiant·es de renseigner ce même code sur l'ensemble des questionnaires auxquels iels devaient répondre, ainsi que sur les fichiers réalisés sur tablette. Les études concernent des adultes majeur·es. Les données à caractère personnel des participant·es (âge, genre, niveau d'études) ont fait l'objet d'un consentement éclairé pour leur collecte au cours du projet. Une note d'information a accompagné le formulaire de consentement pour informer les participant·es sur les objectifs des études, les procédures prévues, les risques et les avantages possibles ainsi que sur leurs droits en tant que participant·es (Annexe F). Les formulaires de consentement ont été signés avant le démarrage de chaque étude.

Ce préambule a permis de présenter l'ensemble des éléments méthodologiques et matériel communs aux études menées dans cette thèse : le logiciel IntuiSKETCH, la conception des contenus pédagogiques, l'élaboration des questionnaires d'apprentissage ainsi que les aspects éthiques. Les chapitres suivants s'appuient sur ces éléments et décrivent

successivement les études réalisées. Ils détaillent les fondements théoriques, les objectifs, les protocoles expérimentaux, les résultats obtenus et leur discussion, dans la perspective de répondre à la problématique de la thèse concernant la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie.

Chapitre 4 : Les effets de la stratégie d'apprentissage par le dessin sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation

1. Introduction

1.1. Contextes théoriques

Traditionnellement, l'enseignement de l'anatomie s'est appuyé sur des approches telles que les cours magistraux et les séances de dissection, longtemps considérées comme la base de la transmission des connaissances anatomiques (Estai & Bunt, 2016). Cependant, comme il a été expliqué en partie théorique (voir chapitre 1), ces méthodes présentent certaines limites. Les cours magistraux semblent encourager une attitude d'écoute passive chez les apprenant·es, tandis que les cours de dissection, bien qu'offrant une expérience concrète, soulèvent d'importantes questions éthiques, logistiques et financières. Parallèlement, les réformes des programmes d'études ont entrainé une réduction du nombre d'heures consacrées à l'anatomie, ce qui a eu pour conséquence une baisse du niveau de connaissances et d'intérêt des apprenant·es pour cette discipline (Pickering, 2015; Sweeney et al., 2014). Face à ces défis, l'enseignement de l'anatomie a évolué, intégrant progressivement des approches pédagogiques actives et des outils numériques (Gross et al., 2017; Peart, 2022; Pickering & Swinnerton, 2019).

Au-delà des cours magistraux et des séances de dissection, le dessin d'anatomie a toujours occupé une place centrale dans la transmission des savoirs anatomiques. Utilisé pour représenter les structures du corps humain, il permet d'en comprendre l'organisation spatiale et les relations entre les éléments. Aujourd'hui encore, ces supports visuels, qu'ils soient présentés par les enseignant·es ou produits par les apprenant·es, constituent un outil essentiel dans les formations médicales et paramédicales. Ainsi, le dessin apparait comme une stratégie potentiellement pertinente pour soutenir l'apprentissage de l'anatomie. Dans cette perspective, le dessin réalisé par les apprenant·es, c'est-à-dire le fait de représenter individuellement et visuellement des structures anatomiques, a retenu l'attention dans la recherche sur l'enseignement de l'anatomie (Alsaid & Bertrand, 2016; Azer, 2011; Borrelli et al., 2018; Gheysens et al., 2017; Mathon et al., 2021; Naug et al., 2011, 2016; Noorafshan et al., 2014; Peart, 2022). Quelques études dans le domaine de l'enseignement de l'anatomie ont exploré l'intégration de cette activité dans l'enseignement, principalement en évaluant les perceptions et les ressentis des étudiant·es. Le dessin a été généralement bien accueilli, la majorité des étudiant·es se déclarant satisfait·es de son utilisation dans les cours d'anatomie (Peart, 2022). Cependant, dans une revue critique de la littérature, Peart (2022) a souligné l'absence de conclusions solides quant à l'efficacité réelle de cette stratégie sur l'apprentissage.

Toutefois, la revue de Peart (2022) s'est exclusivement concentrée sur les études menées dans le domaine de l'anatomie et n'a pas pris en compte l'ensemble plus large des recherches sur l'apprentissage par le dessin en tant que stratégie générative, qui a fait l'objet de nombreuses études dans le domaine des sciences de l'apprentissage.

En dehors de l'enseignement en anatomie, le dessin a été étudié comme stratégie générative pouvant être utile à l'apprentissage, dans un contexte de compréhension de textes

scientifiques (Fiorella & Zhang, 2018). Comme expliqué en chapitre 3, cette stratégie consiste à encourager les apprenant·es à représenter visuellement un contenu textuel. Autrement dit, iels construisent activement des dessins qui reflètent le contenu d'un texte scientifique, en intégrant et en transformant les informations verbales en une représentation visuelle (Van Meter & Garner, 2005). Lorsque les apprenant·es sont invité·es à dessiner, iels doivent sélectionner les informations les plus pertinentes du texte, les organiser dans leur mémoire de travail en une structure spatialement cohérente et les intégrer à leurs connaissances antérieures afin de favoriser leur mémorisation à long terme. Ce processus implique la transformation du contenu textuel en une représentation visuelle à la fois externe et interne (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005).

De nombreuses études ont montré que le dessin permettait d'obtenir de meilleurs résultats d'apprentissage par rapport à la lecture passive ou à d'autres stratégies verbales (Fiorella & Mayer, 2015; Leopold & Leutner, 2012; Schmeck et al., 2014). Cependant, certaines études ont également montré que les avantages du dessin, par rapport aux stratégies basées sur des modèles, restent nuancés (Hellenbrand et al., 2019; Schmidgall et al., 2019, 2020; Q. Zhang & Fiorella, 2019). Des chercheur·es ont également observé que le dessin pouvait imposer une charge cognitive élevée, en particulier pour les apprenant·es ayant des connaissances préalables limitées (Schleinschok et al., 2017). Pour réduire cette charge, plusieurs études ont proposé d'intégrer un soutien pédagogique, tel que des indications, des illustrations partiellement complétées ou des repères organisationnels, afin de faciliter le processus de dessin et d'améliorer son efficacité en tant que stratégie d'apprentissage (Fiorella & Zhang, 2018; Jamet & Michinov, 2022).

La stratégie de dessin s'est également avérée bénéfique pour la métacognition, notamment en améliorant les compétences d'auto-évaluation des apprenant·es (Van De Pol et al., 2020; Van Meter & Firetto, 2013). Le dessin pendant l'apprentissage encourage les apprenant·es à réfléchir plus activement à leur propre compréhension du contenu. En extériorisant visuellement leurs connaissances, les apprenant·es sont encouragé·es à détecter plus facilement leur stratégie d'apprentissage et d'effectuer une auto-évaluation plus précise.

1.2. Objectifs des études

L'objectif des deux études présentées de ce chapitre était d'examiner les effets d'une stratégie d'apprentissage par le dessin sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es dans un contexte d'enseignement en anatomie. Le contexte anatomique est important à souligner puisqu'il s'agit d'un apprentissage complexe, qui nécessite une compréhension approfondie des structures du corps humain. Afin de faciliter l'assimilation de ces connaissances, l'enseignement repose majoritairement sur des supports visuels préexistants, utilisés comme base d'apprentissage par les étudiant·es et les enseignant·es.

L'originalité des études de ce chapitre réside donc dans l'exploration d'une activité de dessin réalisée à partir d'un modèle anatomique visuel fourni. Cela reflète les pratiques réelles d'enseignements en anatomie, très peu étudiées jusqu'ici. Peart (2022) a souligné à la fois l'absence de conclusions claires concernant l'effet du dessin sur les performances d'apprentissage, ainsi qu'un manque de cohérence méthodologique entre les études existantes, rendant leurs résultats difficilement comparables. Afin de répondre à ces limites, les études présentées dans ce chapitre mobilisent des mesures objectives permettant

d'évaluer avec précision les effets de la stratégie de dessin. Les performances d'apprentissage ont été mesurées à travers des tests de rétention et de compréhension s'appuyant sur les indicateurs proposés par Mayer dans le cadre de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014). La précision de l'auto-évaluation, quant à elle, a été examinée à l'aide d'une mesure de calibration décrite dans la littérature. De plus, les deux études présentées dans ce chapitre poursuivent un objectif commun de réplication des effets observés, en s'appuyant sur deux matériels d'apprentissage distincts et deux populations étudiantes différentes : des étudiant·es en kinésithérapie et des étudiant·es en soins infirmiers, chacune travaillant sur un contenu adapté à sa formation. Ces études ont été menées quasiment en parallèle, au cours de la première année de thèse.

Deux conditions d'apprentissage sont comparées dans les deux études. Dans la condition contrôle, les étudiant·es apprenaient un cours d'anatomie sans réaliser de dessin. Tandis que dans la condition « dessin », les étudiant·es apprenaient le même contenu, en élaborant un dessin pendant l'apprentissage.

2. Etude 1 (étudiant·es en kinésithérapie)

2.1. Hypothèses

En nous basant sur la théorie générative de la construction du dessin (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005), nous émettons l'hypothèse que les étudiant·es du groupe « dessin » auraient une meilleure mémorisation des informations à la fois illustrées et textuelles, comparativement aux étudiant·es du groupe contrôle « sans dessin ». Plus

précisément, nous nous attendons à observer un gain significatif entre pré-test et le post-test dans les deux groupes, ce gain étant significativement plus important dans la condition « dessin » (Hypothèse 1).

La génération de dessin est supposée favoriser une meilleure organisation spatiale des connaissances, ainsi qu'une mémorisation renforcée des relations entre les structures anatomiques. Nous nous attendons donc à ce que les étudiant·es du groupe « dessin » rappellent un plus grand nombre d'éléments, et ce de manière plus précise, au test de complétion de schéma, comparativement aux étudiant·es du groupe contrôle (Hypothèse 2).

Nous postulons que l'apprentissage actif impliqué par la génération de dessin favoriserait un traitement plus approfondi des concepts anatomiques. Ainsi, les étudiant·es du groupe « dessin » devraient obtenir de meilleurs scores au test de compréhension que celleux du groupe « sans dessin » (Hypothèse 3).

La présence d'un modèle visuel de référence pendant la réalisation du dessin est susceptible de favoriser une comparaison continue entre la production de l'étudiant·e et le visuel fourni, soutenant un meilleur ajustement du dessin. Cette comparaison devrait également renforcer la capacité d'auto-évaluation. Nous avons donc supposé que les étudiant·es du groupe « dessin » s'auto-évalueraient de manière plus précise que les étudiant·es du groupe contrôle (Hypothèse 4).

2.2. Méthode

2.2.1. Participant·es

L'étude a été menée auprès de 43 étudiant·es en première année de kinésithérapie. L'âge moyen était de *M* = 21.5 ans (*ET* = 4.44). L'échantillon était composé de 26 femmes et de 17 hommes. Les étudiant·es ont été réparti·es de manière aléatoire dans deux groupes relatifs aux conditions expérimentales : un groupe « sans dessin » (n = 23) et un groupe « avec dessin » (n = 20). L'étude ayant été menée de façon écologique et intégrée au cursus de formation, la constitution de ces groupes correspondait aux groupes TD des étudiant·es,

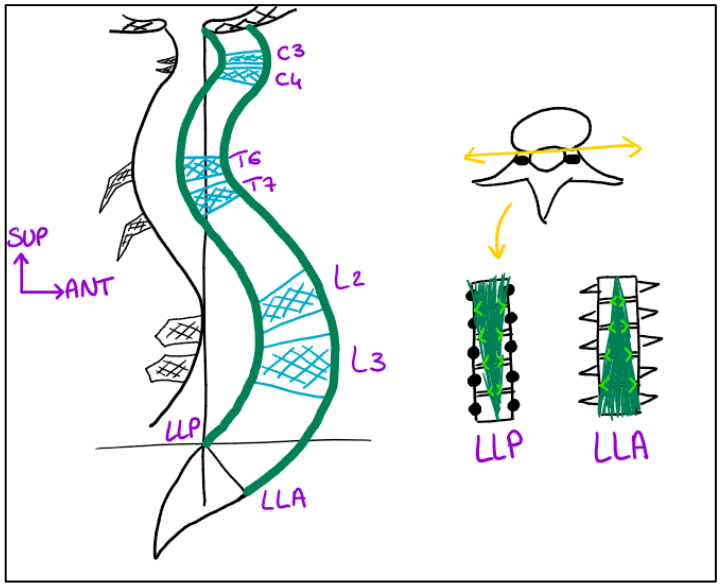
2.2.2. Matériel d'apprentissage

2.2.2.1. Contenus pédagogiques

Le contenu de cours a été élaboré en collaboration avec une formatrice en anatomie spécialisée dans la technique du croquis anatomique de l'IFPEK. Il portait sur les ligaments longitudinaux du rachis et présentait une démarche de construction du croquis à la fois dynamique et segmentée (Annexe A). Cette approche visait à guider progressivement l'apprenant·e dans la réalisation du dessin, tout en expliquant les structures anatomiques représentées ainsi que les relations spatiales entre elles. Le cours comprenait 9 étapes qui concernaient 1) le foramen magnum (49 mots), 2) les courbures rachidiennes (79 mots), 3) le placement des vertèbres (91 mots), 4) le placement des processus épineux (68 mots), 5) le sacrum (15 mots), 6) le placement des ligaments longitudinaux (37 mots), 7) la vue frontale

des ligaments longitudinaux (25 mots), 8) la vue détaillée des ligaments longitudinaux postérieurs (59 mots), et 9) la vue détaillée des ligaments longitudinaux antérieurs (59 mots). Ce matériel ainsi que les différentes étapes sont présentés en Annexe A. Une visualisation du croquis final est présentée en Figure 18.

Figure 18.
Dessin du cours sur les ligaments longitudinaux du rachis.



Les participant·es disposaient d'une tablette Dell Latitude 13.3" sur laquelle le logiciel SKETCH était installé. Un stylet était aussi à leur disposition pour permettre de réaliser l'activité d'apprentissage.

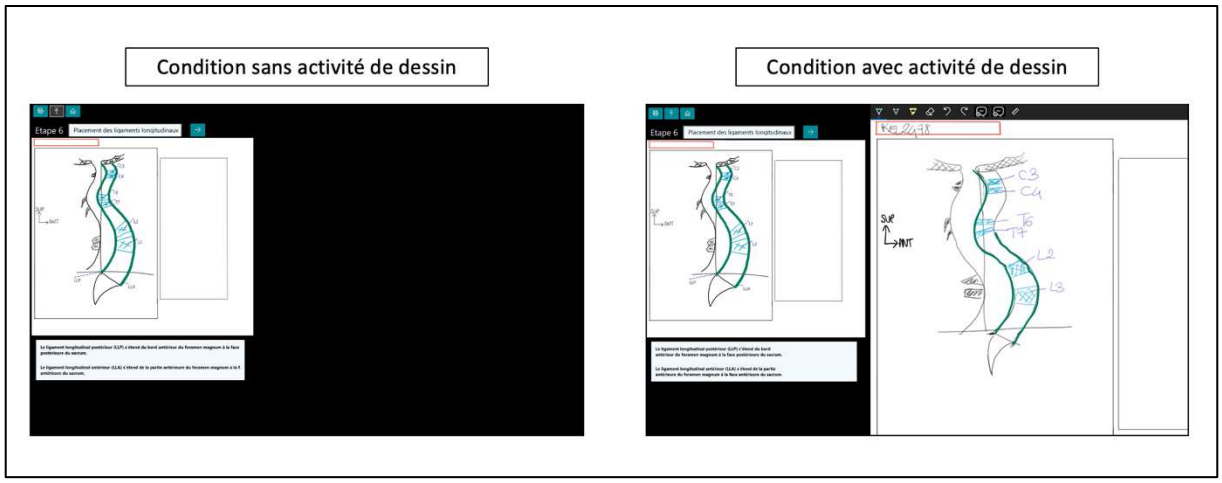
2.2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH

Le logiciel d'apprentissage a été développé dans le cadre du projet SKETCH. Celui-ci est présenté dans la Partie 1 du Préambule. Pour rappel, l'interface dont disposaient les apprenant·es comportait deux parties à l'écran (voir Figure 19). La partie gauche de l'écran était consacrée au cours d'anatomie construit par l'enseignante. Il était segmenté et organisé

en étapes successives permettant aux étudiant·es de progresser à leur propre rythme. La partie droite de l'écran correspondait à une zone active dans laquelle les apprenant·es du groupe « avec dessin » produisaient leur dessin d'apprentissage (voir Figure 19 : illustration à droite). Pour les apprenant·es de la condition « sans dessin », cette zone était désactivée par un écran noir (voir Figure 19 : illustration à gauche)

A chaque étape, les apprenant·es pouvaient consulter le cours et réaliser l'activité en fonction de la condition à laquelle iels étaient affilié·es. Lorsqu'une étape était validée, il n'était plus possible de revenir à une étape précédente, ni de modifier les tracés de dessin effectués à une autre étape.

Figure 19.
Captures d'écran des interfaces apprenant·e en fonction des conditions d'apprentissage (étude 1).



2.2.3. Mesures

2.2.3.1. Mesures des variables contrôles

Des informations relatives aux participant·es ont été recueillies lors de la phase de pré-test. Elles concernaient à la fois des données sociodémographiques (Annexe G) de type âge, genre et latéralité ; ainsi que des variables liées à l'étude : incluant l'intérêt et le niveau perçu des étudiant·es pour le dessin et l'anatomie, leurs capacités spatiales, ainsi que leurs connaissances préalables. Ces mesures ont été utilisées en tant que variables contrôles afin de s'assurer de l'équivalence initiale entre les groupes (Annexe H). L'intérêt et le niveau perçu des étudiant·es pour l'anatomie et le dessin ont été évaluées à l'aide de cinq items. Pour chaque item, les participant·es devaient indiquer leur auto-estimations sur une échelle de Likert en 9 points, allant de 1 « très faible » à 9 « très élevé ». Un exemple d'item était : « *Sur une échelle de 1 (très faible) à 9 (très élevé), merci d'entourer le chiffre qui correspond à votre niveau d'intérêt pour l'anatomie* ».

Les **capacités spatiales** ont été évaluées à l'aide de 10 items du Paper Folding Test de (Ekstrom & Harman, 1976). Pour chaque item, les apprenant·es devaient manipuler mentalement le pliage et le dépliage d'une feuille de papier qui avait été trouée. Iels indiquaient ensuite la bonne réponse sur cinq choix de réponses possibles. Un point était attribué par bonne réponse, un point était soustrait en cas d'erreur ou d'absence de réponse. Ce test était chronométré : les étudiant·es disposaient de 3 minutes pour traiter le plus d'items possible. Le test est présenté en Annexe L.

2.2.3.2. Questionnaire d'apprentissage

Les performances d'apprentissage ont été évaluées à l'aide de trois mesures : un rappel verbal, un test de connaissances visuospatiales et un test de compréhension (Annexe N).

Le **rappel verbal** a été mesuré à l'aide d'une mesure répétée, administrée en pré-test et en post-test. *Le pré-test*, correspondant à une mesure de connaissances préalables. Il comprenait huit questions verbales de type questionnaire à choix unique portant sur les éléments qui structurent l'anatomie du rachis (Annexe M). Par exemple, il était demandé aux apprenant·es d'indiquer parmi plusieurs choix de réponses possible, le nom des vertèbres placées en sommet de courbure du rachis. Le résultat était scoré sur 8 points. Un point était accordé par réponse correcte et 0 pour réponse incorrecte ou une absence de réponse. Chacune des questions comportaient cinq réponses possibles dont la réponse « *je ne sais pas* ». *Le post-test,* administré après la phase d'apprentissage, était identique au questionnaire pré-test, permettant ainsi d'obtenir une mesure répétée des connaissances verbales et d'évaluer les évolutions de performance entre les deux temps de mesure.

Les connaissances visuospatiales ont été mesurée par un test de complétion de schéma (Annexe N). Il était demandé aux étudiant·es de compléter un croquis anatomique en y ajoutant les éléments manquants. Ce test a été évalué à l'aide de deux scores : un score de présence et un score de précision. Le *score de présence*, noté sur 9 points, correspond au nombre d'éléments attendus et représentés par l'apprenant·e. Le *score de précision* évalue la qualité des éléments qui ont été représentés par les étudiant·es, en termes de positionnement et de forme. Il est également noté sur 9 points. Ainsi, un point de présence était attribué

lorsqu'un élément attendu était dessiné, et un point de précision était accordé si cet élément était positionné au bon endroit et correctement dessiné.

Le test de compréhension comprenait 5 questions de type QCM et évaluait la capacité des apprenant·es à appliquer les connaissances acquises dans des situations concrètes (Annexe N). Ce test était évalué sur 5 points. Pour chaque question, les apprenant·es devaient indiquer la bonne réponse parmi cinq réponses possibles (dont la réponse « je ne sais pas »). Un exemple de question était : « *Concernant la palpation des processus épineux les uns par rapports aux autres, on peut dire que la palpation sera plus distincte : au niveau cervical ; au niveau thoracique ; au niveau lombaire ; cela ne change rien quel que soit l'étage palpé ; je ne sais pas* ».

2.2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation

La précision de l'auto-évaluation a été mesurée en comparant la perception qu'avait l'apprenant·e de sa propre compréhension avec sa performance réelle. Pour ce faire, il a été demandé aux apprenant·es d'évaluer leur niveau de compréhension sur un score de 20 points, en référence au système de notation classique utilisé en France. Leur score réel et leur score auto-évalué obtenu au post-test ont ensuite été convertis en pourcentage, puis soustraits (score de calibration). Un score proche de zéro indique une bonne calibration, tandis qu'un score positif reflète une surestimation de la performance, et un score négatif une sous-estimation.

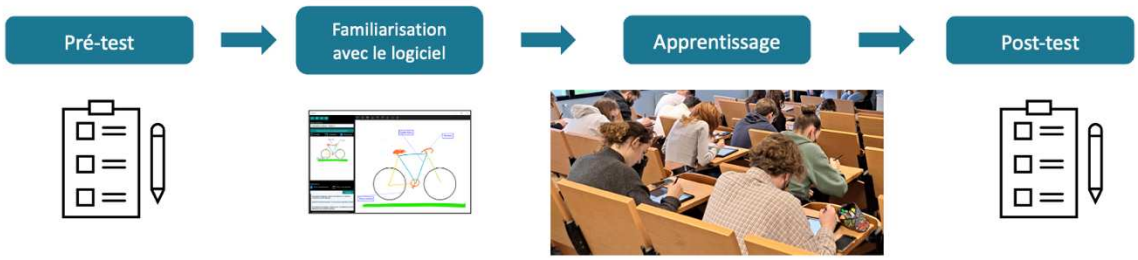
2.2.3.4. Mesure de l'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie

La mesure de l'utilité perçue du dessin a été intégrée à titre exploratoire, sans formulation d'hypothèse préalable (Annexe I). Les résultats obtenus à cette mesure seront examinés dans l'ensemble des expérimentations de cette thèse. Cette variable a été recueillie lors du pré-test et du post-test au moyen de quatre items. Pour chacun d'eux, les apprenant·es devaient indiquer leur niveau d'accord sur une échelle de Likert allant de 1 (« *pas du tout d'accord* ») à 9 (« *tout à fait d'accord* »). La fidélité interne de l'échelle s'est révélée satisfaisante, avec un Cronbach de α = .918 au pré-test et de α = .946 au post-test. Les quatre affirmations étaient les suivantes :

1. *« Je trouve que l'activité de dessin est utile pour l'apprentissage de l'anatomie.* »
2. « *Dessiner des croquis d'anatomie me permet de mieux comprendre les structures du corps humain.* »
3. « *Je pense que dessiner l'anatomie est utile pour ma pratique en kinésithérapie.* »
4. *« Dessiner l'anatomie m'aide à mieux me représenter le corps humain.* »

2.2.4. Procédure

Figure 20.
Chronologie du déroulement de l'expérimentation.



L'étude s'est déroulée dans un amphithéâtre de l'institut de formation en kinésithérapie (IFPEK). Au début de l'expérimentation, tous·tes les participant·es ont reçu des informations sur le contexte de l'étude et ont rempli un formulaire de consentement éclairé. Les étapes d'expérimentation étaient identiques pour tous les groupes (voir Figure 20). Les étudiant·es ont été accueilli·es par groupe, en fonction de la condition d'apprentissage. Chaque étudiant·e était installé·e individuellement à un bureau et avait à sa disposition une tablette avec un stylet. Dans un premier temps, iels ont complété le pré-questionnaire visant à évaluer leur intérêt pour l'anatomie et le dessin, leurs capacités spatiales ainsi que leurs connaissances préalables sur les ligaments longitudinaux du rachis.

Ensuite, une phase de familiarisation avec le logiciel leur a permis de prendre en main l'outil d'apprentissage. Il s'agissait d'une phase où iels étaient amené·es à consulter un contenu expliquant la réalisation d'un dessin simple : un vélo. Ce dessin permettait de faire dessiner les apprenant·es de façon simple en les amenant à réaliser deux ronds (roues) et un triangle (cadre du vélo) et de les laisser ajouter les éléments restant (pédales, guidon, selle). Chaque étape du dessin était guidée par une illustration et un texte expliquant comment réaliser le dessin. Le logiciel était paramétré en fonction de chaque condition expérimentale. Ainsi, la

phase de familiarisation permettait à chaque apprenant·e de se l'approprier dans les mêmes modalités que celles qui seraient utilisées lors de la phase d'apprentissage.

La phase d'apprentissage a permis aux étudiant·es d'apprendre le cours de manière progressive. Les étudiant·es de la condition « sans dessin » ont consulté le contenu du cours sans réaliser de dessin. Tandis que les étudiant·es de la condition « avec dessin » ont été amenés à dessiner à chaque étape pendant l'apprentissage du cours.

Les écrans des tablettes ont été enregistrés afin de permettre l'analyse des tracés réalisés par les apprenant·es et de vérifier le bon déroulement de la tâche pour chacun·e. Les apprenant·es ayant rencontré trop de difficultés ou n'ayant pas respecté la consultation des étapes prévues durant l'apprentissage ont été exclu·es des analyses. Après la phase d'apprentissage, un questionnaire post-test a été distribué pour mesurer les performances d'apprentissage, la précision de l'auto-évaluation et l'utilité perçue du dessin.

2.3. Résultats

Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel JAMOVI. Le seuil de signification était fixé à .05. Lorsque les conditions d'homogénéité n'étaient pas remplies, des tests non paramétriques ont été appliqués.

2.3.1. Variables contrôles

Plusieurs variables contrôles ont été mesurées en pré-test afin de s'assurer de l'équivalence initiale entre les groupes (voir Tableau 1). Aucune différence significative n'a été

observée entre les groupes pour la majorité de ces variables selon les analyses réalisées. Deux exceptions ont été révélées concernant les auto-estimations du niveau perçu en anatomie et du niveau de connaissances perçues sur le rachis. Ces deux variables seront intégrées en tant que co-variables dans les analyses utilisées pour tester nos hypothèses. Les résultats du pré-test de rappel verbal n'indiquent aucune différence significative entre les groupes. L'ensemble des participant·es présentait un niveau de connaissances initial faible et comparable au début de l'expérimentation. Le gain d'apprentissage sera analysé dans la partie suivante à l'aide de la mesure répétées en post-test.

Tableau 1.
Statistiques descriptives et résultats aux analyses des mesures contrôle.

	Groupe sans dessin	**Groupe dessin**	**Valeurs statistiques**	**ddl**	***p***
Variables contrôlées	***M (ET)***	***M (ET)***			
Genre	-	-	$\chi^2 = 322$	1	.571
Age	21.5 (5)	21.4 (3.82)	$F = .008$	1	.928
Intérêt pour l'anatomie (1 – 9)	8.13 (.869)	7.85 (.988)	$t = .990$	41	.328
Intérêt pour le dessin (1 – 9)	5.04 (2.33)	5.50 (2.19)	$t = -.660$	41	.513
Niveau perçu en anatomie (1 – 9)	6.22 (.736)	5.30 (1.45)	$t = 2.661$	41	.011*
Niveau perçu des connaissances sur le rachis (1 – 9)	4.87 (1.49)	3.80 (2.04)	$t = 1.981$	41	.054
Niveau perçu en dessin (1 – 9)	4.35 (1.99)	4.60 (2.16)	$t = -.398$	41	.693
Capacités spatiales (-10 – 10)	5.13 (2.34)	5.35 (3.33)	$t = -.252$	41	.802
Connaissances préalables (/9)	2.74 (1.25)	2.75 (1.80)	$t = -.023$	41	.982

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type. *$p < .05$; **$p < .01$; ***$p < .001$

2.3.2. Performances d'apprentissage

Concernant le test de rappel verbal, une analyse ANCOVA à mesures répétées a été conduite afin d'examiner l'effet du moment de la mesure (pretest vs. post-test) et de la

condition d'apprentissage sur les performances au test, en contrôlant le niveau perçu en anatomie et sur le rachis ainsi que les capacités spatiales des apprenant·es. Le moment de la mesure a été inclus comme facteur intra-sujet, et la condition d'apprentissage comme facteur inter-sujet. Les résultats ont montré un effet principal du moment de la mesure, $F(1, 38) = 3.898$, $p = .056$, $\eta^2 p = .093$, indiquant une amélioration des performances entre le prétest et le post-test. Un effet principal significatif de la condition a également été observé, $F(1, 38) = 8.69$, $p = .005$, $\eta^2 p = .186$, révélant des différences significatives des performances d'apprentissage entre les groupes. Enfin, l'interaction entre le moment de la mesure et la condition d'apprentissage s'est révélée significative, $F(1, 38) = 12.749$, $p < .001$, $\eta^2 p = .251$, indiquant que les gains entre prétest et post-test en fonction de la condition d'apprentissage. Plus précisément, les apprenant·es du groupe « sans dessin » ont montré une amélioration plus importante de leurs performances à ce test que celleux du groupe « avec dessin ». Ce résultat ne confirme pas l'Hypothèse 1.

En ce qui concerne **le test de connaissances visuospatiales**, un effet significatif du dessin a été observé sur le score de présence, $H(1) = 6.93$, $p = .008$, $e^2 = .165$. Les apprenant·es du groupe « dessin » se souviennent de plus d'éléments que celleux du groupe « sans dessin ». Conformément à l'Hypothèse 2, l'effet significatif du dessin sur le score de précision a été démontré, $H(1) = 6.06$, $p = .014$, $e^2 = .144$. Les apprenant·es du groupe « dessin » ont obtenu des résultats significativement plus élevés que celleux du groupe « sans dessin » (voir Tableau 2).

En ce qui concerne **le test de compréhension**, aucun effet du dessin n'a été démontré, $H(1) = 3.69$, $p = .055$, $e^2 = .087$. L'Hypothèse 3 n'a pas été validée.

2.3.3. Précision de l'auto-évaluation

Contrairement à l'Hypothèse 4, les analyses n'ont pas montré d'effet de la condition d'apprentissage sur la précision du monitoring, $F(1, 37) = .023$, $p = .880$, $\eta^2p = .001$. Les apprenant·es du groupe « dessin » ne s'auto-évaluent pas mieux que celleux du groupe « sans dessin » (voir Tableau 2).

Tableau 2.
Moyennes et écarts-types des résultats d'apprentissage.

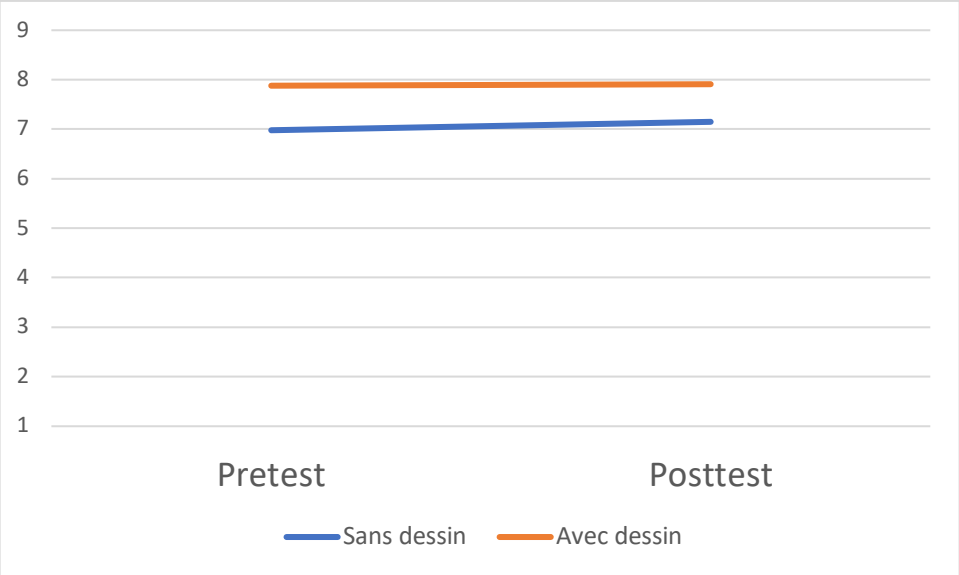
		Groupe sans dessin	Groupe dessin
Performances d'apprentissage		***M (ET)***	***M (ET)***
Test de rappel verbal (/8)		6.22 (1.13)	4.40 (1.39)
Test de connaissances visuospatiales	Score de présence (/9)	8.22 (.951)	8.90 (.308)
	Score de précision (/9)	5.39 (2.21)	6.95 (1.50)
Compréhension (/5)		2.26 (1.14)	1.60 (.821)
Précision de l'auto-évaluation		-14.8 (16.5)	-11.6 (20)

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

2.3.4. Utilité perçue du dessin

L'analyse a révélé une différence significative entre les deux moments de la mesure, $F(1, 37) = 4.427$, $p = .042$. Aucun effet principal de la condition d'apprentissage n'a été observé, $F(1, 37) = 2.308$, $p = .137$. Enfin, l'analyse ne révèle aucun effet d'interaction moment*condition, $F(1, 37) = .299$, $p = .588$. Les résultats sont présentés graphiquement en Figure 21.

Figure 21.
Résultats moyens obtenus aux mesures d'utilité perçue pour les deux conditions d'apprentissage.



2.4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet de l'activité de dessin sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es dans un contexte d'apprentissage de l'anatomie. Notre première hypothèse n'est pas validée. En effet, l'activité de dessin pendant l'apprentissage n'a pas permis d'améliorer la mémorisation des informations, et a eu, au contraire, un effet négatif sur celle-ci, lorsqu'elle est évaluée à l'aide d'un questionnaire de type QCM, c'est-à-dire verbal. Ce résultat suggère un effet de traitement focalisé (Jamet & Michinov, 2022), selon lequel l'engagement dans l'activité de dessin aurait conduit les étudiant·es à privilégier le traitement des informations visuelles et spatiales, au détriment de l'encodage des informations verbales.

D'un autre côté, en accord avec l'Hypothèse 2, les résultats de cette étude ont montré un effet positif du dessin au test de connaissances visuospatiales, suggérant que cette stratégie

aide les apprenant·es à organiser mentalement les informations en mémoire. Ces résultats soulignent l'importance de varier les types de tests utilisés pour évaluer l'acquisition des connaissances anatomiques, en particulier parce que la composante spatiale joue un rôle central dans cette discipline. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans la littérature, qui montrent une corrélation entre les capacités spatiales des étudiant·es et leur performance à des tests intégrant une composante visuelle et spatiales (Langlois et al., 2017; Roach et al., 2021).

En revanche, aucun effet du dessin n'a été mis en évidence au test de compréhension, ce qui ne permet pas de valider l'Hypothèse 3. L'Hypothèse 4, concernant la précisions de l'auto-évaluation des apprenant·es n'est également pas confirmée. L'activité de dessin pendant l'apprentissage n'a pas permis aux apprenant·es d'être plus précis dans leur propre évaluation de leur compréhension.

L'étude suivante a été conçue pour répliquer et approfondir ces résultats en mobilisant un matériel d'apprentissage différent, une autre population étudiante et des modalités d'évaluation plus variées. Cette démarche visait à tester la robustesse et la généralisation des effets observés dans un nouveau contexte d'enseignement de l'anatomie, tout en examinant si l'impact du dessin pouvait différer selon le type de contenu étudié, le profil des apprenant·es ou la nature des tests d'évaluation utilisés.

3. Etude 2 : réplication de l'étude auprès d'étudiant·es infirmièr·es[3]

3.1. Objectifs et hypothèses

L'étude a été répliquée auprès d'étudiant·es infirmièr·es et avec un matériel d'apprentissage portant sur l'anatomie de l'œil. Nous avons émis l'hypothèse que les apprenant·es du groupe « dessin » auraient un meilleur rappel que celleux du groupe « sans dessin » (Hypothèse 1). Comme l'élaboration de dessins favoriserait une meilleure organisation spatiale des connaissances et améliorerait la mémorisation des relations entre les différentes parties de la structure anatomique à apprendre, nous nous attendions à ce que les apprenant·es du groupe « dessin » produisent des dessins de meilleure qualité au post-test que les apprenant·es du groupe « sans dessin » (Hypothèse 2). Enfin, nous avons émis l'hypothèse que l'apprentissage actif impliqué dans le dessin encouragerait le traitement en profondeur des concepts anatomiques avec les connaissances antérieures et, par conséquent, que les apprenant·es du groupe « dessin » auraient une meilleure compréhension, évaluée par un test de transfert, que celleux du groupe « sans dessin » (Hypothèse 3).

Un deuxième objectif de l'étude était d'évaluer les effets du dessin sur la précision de l'auto-évaluation par les apprenant·es de leur compréhension du cours. La présence d'un modèle visuel, utilisé tout au long de l'élaboration du dessin, devrait servir de support et aider les

[3] L'étude 2 présentée ici fait l'objet d'un article scientifique actuellement en soumission dans la revue Advances in Health Science Education : Leconte, L., & Jamet, E. (2025). Does learning by drawing from a multimedia document improve knowledge and self-assessment in anatomical education?.

apprenant·es à comparer et à corriger leur production et leurs représentations des connaissances. Par conséquent, nous avons supposé que les apprenant·es du groupe « dessin » bénéficiaient d'une meilleure auto-évaluation (c'est-à-dire d'un meilleur contrôle de la précision) que celleux du groupe « sans dessin » (Hypothèse 4).

3.2. Méthode

3.2.1. Participant·es

Cette étude a été menée auprès de 46 étudiant·es (7 hommes et 39 femmes) en deuxième année de formation en soins infirmiers. L'âge moyen était de 24.1 ans (*ET* = 6.15). Les étudiant·es ont été réparti·es dans deux groupes : 20 apprenant·es dans le groupe « sans dessin » et 26 dans le groupe « avec dessin ».

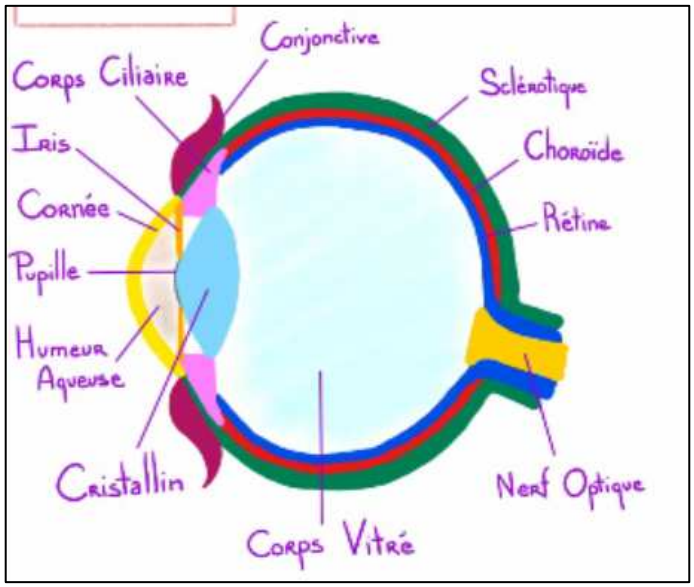
3.2.2. Matériel d'apprentissage

3.2.2.1. Contenu pédagogique

Le contenu pédagogique utilisé dans cette étude est une leçon sur l'anatomie de l'œil (voir Figure 22). Ce contenu pédagogique a été créé avec l'aide de deux experts en anatomie d'un institut de formation en soins infirmiers (IFPS). Il contenait des paragraphes de texte accompagnés d'illustrations. Les illustrations représentaient visuellement et spatialement différentes structures de l'anatomie de l'œil en 6 étapes. Les étapes concernaient 1) la membrane fibreuse (64 mots), 2) la membrane vasculaire (47 mots), 3) l'iris de l'œil (61 mots),

4) la tunique nerveuse (100) mots, 5) les milieux transparents (101 mots), et 6) la conjonctive (31 mots).

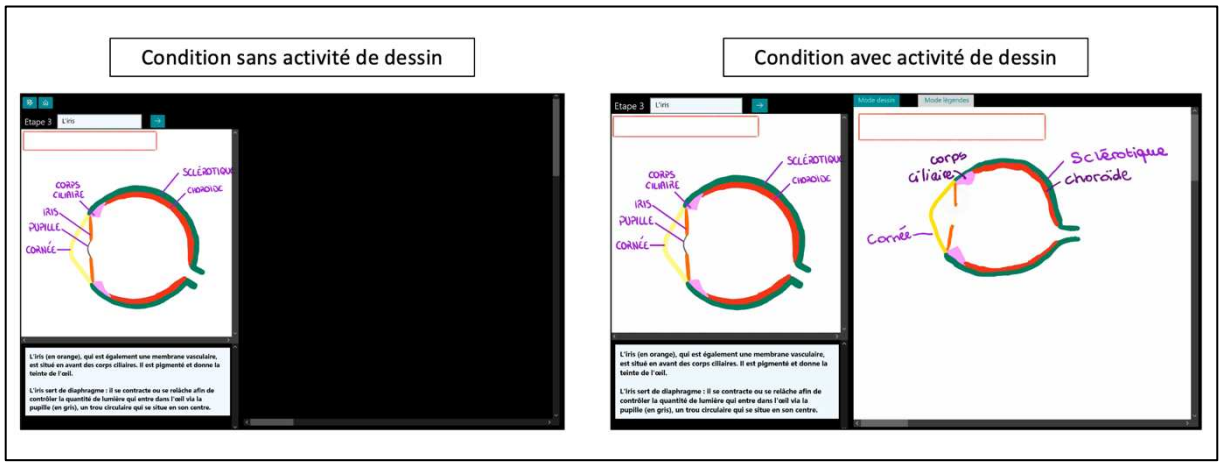
Figure 22.
Dessin du cours sur l'anatomie de l'œil.



3.2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH

Le matériel utilisé dans cette étude était identique à celui mobilisé lors de la première expérimentation. Chaque participant·es disposait d'une tablette numérique Dell Latitude 13.3" et d'un stylet associé. La version du logiciel SKETCH était également identique à celle utilisée lors de la première étude. La Figure 23 ci-dessous présente les interfaces correspondant aux deux conditions d'apprentissage.

Figure 23.
Captures des interfaces apprenant·e en fonction des conditions d'apprentissage (étude 2).



3.2.3. Mesures

3.2.3.1. Mesures des variables contrôles

Les mesures en préquestionnaire étaient identiques à celles de l'étude 1, mais adaptées aux caractéristiques de la population participante à la présente étude (infirmièr·es). L'ensemble des questions sont détaillées en section « Mesures » de l'étude 1 ainsi qu'en annexes.

Le **test de connaissances préalables** était composé de 5 questions ouvertes pour un total de 9 points (Annexe O). Les questions portaient sur l'anatomie de l'œil (par exemple : « *Quel(s) élément(s) de l'œil permet(tent) l'accommodation ?* »). Un point était accordé par bonne réponse, zéro lorsque la réponse était incorrecte ou absente.

Le Paper Folding Test (Ekstrom & Harman, 1976) a été utilisé pour mesurer les **capacités spatiales**, selon un protocole similaire à celui de l'étude 1, à la différence que les deux parties du test ont été administrées (contre une seule lors de l'étude 1). Chaque partie comprenait dix

items à choix multiples. Comme pour la première étude, les participant·es devaient manipuler mentalement le pliage et le dépliage d'une feuille de papier qui avait été percée, puis sélectionner, parmi cinq propositions, la bonne réponse. La durée impartie pour chacune des parties du test était fixée à 3 minutes. Un point était attribué pour chaque réponse correcte, tandis qu'un point était soustrait en cas de mauvaise réponse ou d'absence de réponse (Annexe L).

3.2.3.2. Questionnaire d'apprentissage

Les performances d'apprentissage ont été évaluées à l'aide de trois types de tests : un test de mémorisation verbale, un test de connaissances visuospatiales et un test de compréhension (Annexe P). Ces trois évaluations ont permis d'analyser les performances d'apprentissage, en mesurant à la fois la mémoire verbale et visuelle, ainsi que l'application des connaissances.

Le test de rappel verbal était composé de 10 questions ouvertes avec un score maximum de 18 points. Il mesurait la capacité des apprenant·es à se souvenir des informations contenues dans le cours (par exemple, « *Quelle est la fonction des photorécepteurs dans la rétine ?* »).

Le test de compréhension était composé de 4 questions avec un score total de 4 points et évalue la capacité des apprenant·es à appliquer les connaissances acquises dans des situations concrètes, vérifiant ainsi leur compréhension fonctionnelle de l'information (par exemple : « *La cataracte est définie comme l'opacification progressive du cristallin. Selon vous, quelles sont les conséquences de la cataracte sur le fonctionnement de l'œil ?* »).

Concernant le test de connaissances visuospatiales, les étudiant·es devaient réaliser un dessin de l'anatomie de l'œil en rappel libre, en incluant autant d'éléments et de légendes qu'ils pouvaient se rappeler. Ce test exigeait une représentation visuelle mentale des connaissances acquises sur l'anatomie de l'œil. Le dessin a été évalué selon deux critères : un *score de présence*, correspondant au nombre d'éléments rappelés, et un *score de précision*, mesurant l'exactitude des éléments reproduits. Autrement dit, un point était attribué lorsqu'un élément était dessiné (score de présence) et un point était attribué lorsque la forme et la position de cet élément étaient correctes (score de précision). Chacun de ces scores est notée sur 24 points. La qualité du dessin produit lors du post-test a été évaluée en double codage. 30% des dessin ont évalués par deux évaluateurs. La fiabilité inter-juges était élevée pour les mesures de présence et de précision (ICC > .80).

3.2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation

Comme dans l'étude 1, la précision de l'auto-évaluation a été mesurée en comparant la compréhension perçue par l'apprenant·e à sa performance réelle. Les apprenant·es évaluaient leur compréhension sur une échelle de 20 points. Les scores perçus et réels ont été convertis en pourcentages, puis leur écart a été calculé : un score proche de zéro indique une bonne calibration, un score positif une surestimation et un score négatif une sous-estimation.

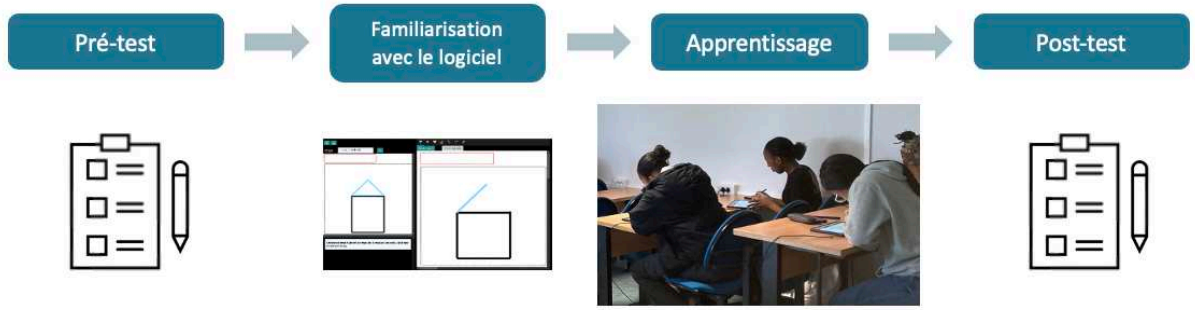
3.2.3.4. Mesure d'utilité perçue du dessin

Dans cette étude, la mesure de l'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie a été reprise de manière identique à celle utilisée dans l'étude 1 (Annexe I). Seul

l'item 3 a été adapté à la population étudiée, c'est-à-dire les étudiant·es en soins infirmiers (e.g. « *Je pense que dessiner l'anatomie est utile pour ma pratique d'infirmièr·e.* »).

3.2.4. Procédure

Figure 24.
Chronologie des étapes de procédure de l'étude 2.



L'étude s'est déroulée dans un amphithéâtre de l'IFPS, la procédure était identique à l'étude 1 (voir Figure 24). Les apprenant·es ont été accueilli·es par groupe correspondant aux différentes conditions expérimentales. Iels étaient installé·es individuellement et avaient chacun·e une tablette avec stylet à disposition. Après avoir reçu les informations relatives à l'étude et signé le consentement éclairé, les apprenant·es ont complété un pré-questionnaire évaluant leur intérêt pour l'anatomie et le dessin, leurs capacités spatiales, ainsi que leurs connaissances préalables sur l'anatomie de l'œil. Une phase de familiarisation avec le logiciel a ensuite été réalisée. Dans cette étude, les étudiant·es étaient amené·es à dessiner un dessin simple d'une maison pour s'approprier le logiciel. Venait ensuite la phase d'apprentissage, au cours de laquelle tous·tes les apprenant·es étudiaient le cours, étape par étape. Les apprenant·es de la condition contrôle consultaient le contenu du cours sans activité de dessin. Tandis que les apprenant·es de la condition « dessin » étaient amené·es à dessiner le contenu du cours à chaque étape. Les interactions avec le logiciel ont été enregistrées afin de permettre

à l'équipe informatique d'analyser les tracés et afin de s'assurer du bon déroulement de la tâche. Les données des participant·es ne respectant pas le protocole ont été exclues des analyses. Après l'apprentissage, un questionnaire post-test a été administré pour mesurer l'apprentissage, l'utilité perçue de la stratégie de dessin et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es.

3.3. Résultats

Les variables contrôles ont été analysées avec des *t*-tests de Student avec la condition d'apprentissage comme facteur entre les apprenant·es. Lorsque les conditions d'homogénéité n'étaient pas respectées, des tests de Mann-Whitney ont été effectués. Nos hypothèses concernant l'effet du dessin sur l'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation ont été analysées à l'aide d'analyse ANCOVA, avec la condition d'apprentissage comme facteur inter-sujets, ainsi que les connaissances préalables, les capacités spatiales et l'intérêt pour l'anatomie en covariables. Les moyennes et écarts-types pour chaque variable sont présentés dans le Tableau 3.

Les perceptions des apprenant·es concernant l'utilité de la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie ont été analysées à l'aide d'une analyse ANCOVA à mesures répétées, avec le temps de la mesure (pre-test, post-test) en facteur intra-sujet, et la condition d'apprentissage en facteur inter-sujet. Les mêmes covariables que les autres analyses ont été indiquées dans ce modèle d'analyse.

3.3.1. Variables contrôles

Concernant les variables contrôlées à l'aide du pré-questionnaire, il n'y a pas de différence de répartition du genre entre les conditions (χ^2 = .001, *p* = .971), ni de différence d'âge des étudiant·es entre les deux groupes, *t*(44) = -1.1309, *p* = .264. Les *t*-tests révèlent une différence dans les conditions concernant l'intérêt des apprenant·es pour l'anatomie, *t*(44) = 2.1389, *p* = .038, aucune différence concernant l'intérêt pour le dessin, *t*(44) = .879, *p* = .384, et aucune différence d'auto-évaluation du niveau de connaissances des apprenant·es en anatomie, *t*(44) = .3027, *p* = .764, anatomie de l'œil, *t*(44) = -.0726, *p* = .942, et de leur niveau de dessin, *t*(44) = .1196, *p* = .905.

Par ailleurs, les analyses ne montrent pas de différence entre les groupes en ce qui concerne la mesure des capacités spatiales, *t*(44) = -.850, *p* = .400, et les connaissances préalables des étudiant·es sur le sujet, *t*(44) = .621, *p* = .538. De plus, nous observons de faibles scores pour les connaissances préalables. Les apprenant·es connaissaient très peu le cours avant de l'étudier dans le cadre de l'expérimentation.

3.3.2. Performances d'apprentissage

En ce qui concerne **le test de mémoire verbal**, l'ANCOVA n'a révélé aucune différence significative entre les deux conditions, *F*(1, 41) = 1.014, *p* = .320, η^2p = .024, contrairement à notre première hypothèse. Les scores de mémorisation étaient assez faibles pour les deux groupes d'apprenant·es participant à l'étude (voir Tableau 3). Pour **le test de connaissances visuospatiales**, aucun effet significatif du dessin sur le *score de présence* n'a été démontré, *F*(1, 41) = 2.779, *p* = .103, η^2p = .063. Conformément à l'Hypothèse 2, un effet significatif de la

condition a été observé sur le *score de précision*, $F(1, 41) = 5.137$, $p = .029$, $\eta^2p = .111$. Les participant·es du groupe « dessin » ($M = 16.7$, $ET = 4.58$) ont obtenu des scores significativement plus élevés que cellex du groupe « sans dessin » ($M = 14.1$, $ET = 5.03$).

En ce qui concerne le test de compréhension (Hypothèse 3), les conditions d'apprentissage ne différaient pas de manière significative, $F(1, 41) = .716$, $p = .402$, $\eta^2p = .017$.

3.3.3. Précision de l'auto-évaluation

En ce qui concerne la précision de l'auto-évaluation (voir Tableau 3), l'analyse a révélé un effet positif de l'activité de dessin, $F(1, 44) = 5.202$, $p = .028$, $\eta^2p = .113$. Les résultats ont indiqué que les étudiant·es du groupe « dessin » avaient un meilleur calibrage (Hypothèse 4), bien que légèrement surestimé ($M = 4.88$, $ET = 28$), tandis que les apprenant·es du groupe « sans dessin » avaient tendance à sous-estimer leur compréhension ($M = -7.56$, $ET = 20.1$).

Tableau 3.
Moyennes et écarts-types des résultats d'apprentissage.

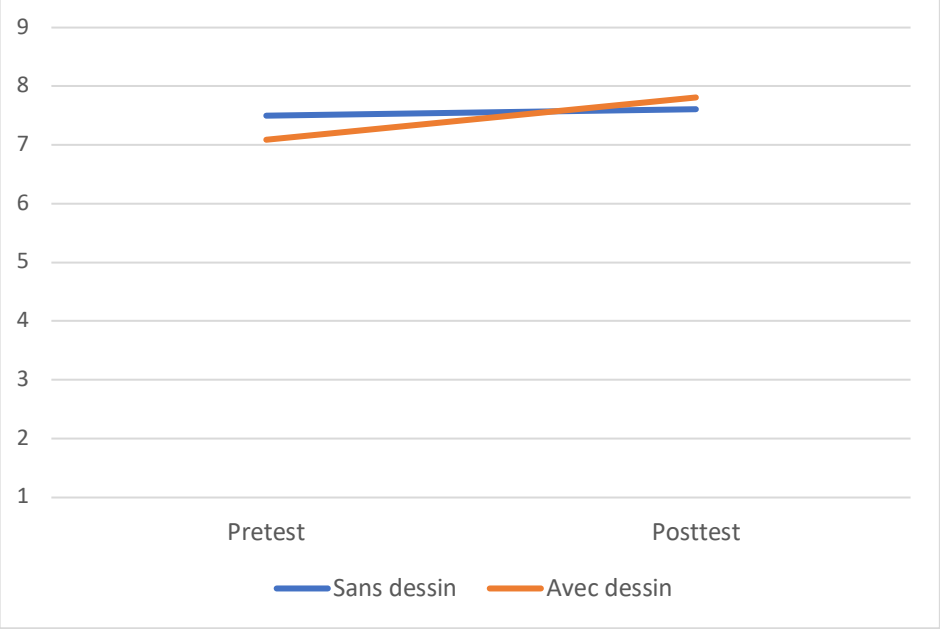
		Groupe sans dessin	**Groupe avec dessin**
Performances d'apprentissage		***M (ET)***	***M (ET)***
Test de rappel verbal (/18)		6.60 (2.58)	5.88 (2.97)
Test de connaissances visuospatiales	Score de présence (/24)	17.7 (3.10)	18.8 (3.37)
	Score de précision (/24)	14.1 (5.03)	16.7 (4.58)
Compréhension (/4)		1.60 (.681)	1.65 (.936)
Précision de l'auto-évaluation		-7.56 (20.1)	4.88 (28)

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

3.3.4. Utilité perçue du dessin

L'analyse n'a pas révélé de différences significatives entre les deux moments de la mesure, $F(1, 40) = 1.432$, $p = .239$. Il n'y a pas non plus d'effet principal de la condition d'apprentissage, $F(1, 40) = .081$, $p = .778$. L'analyse révèle un effet d'interaction moment*condition, $F(1, 40) = 3.844$, $p = .057$. Cette interaction montre que l'utilité perçue du dessin augmente après l'activité chez les apprenant·es ayant dessiné pendant l'apprentissage, alors qu'elle reste stable chez les apprenant·es qui n'ont pas dessiné. Les résultats sont présentés ci-dessous, en Figure 25.

Figure 25.
Graphique des scores moyens obtenus aux tests d'utilité perçue en fonction de la condition d'apprentissage.



3.4. Discussion

Comme la première étude, l'objectif principal était d'examiner l'effet d'une activité de dessin sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es. Les résultats relatifs aux performances d'apprentissage sont quasiment similaires à ceux de l'étude 1. La première hypothèse n'a pas été validée. Le dessin n'a pas permis d'améliorer la mémorisation des informations, notamment lorsqu'elles sont évaluées à l'aide d'un test de type verbal. En revanche, conformément à l'Hypothèse 2, un effet positif du dessin a été observé au test de connaissances visuospatiales. L'Hypothèse 3 n'a pas été confirmée, le dessin n'a pas permis aux apprenant·es de mieux comprendre le contenu comparativement au groupe contrôle. Enfin, une différence par rapport à l'étude 1 est révélée et concerne la précision de l'auto-évaluation. L'Hypothèse 4 a été validée, montrant que les apprenant·es ayant dessiné s'auto-évaluent mieux que les apprenant·es n'ayant pas dessiné pendant l'apprentissage.

4. Discussion générale des deux études

4.1. Interprétation des résultats des deux études

Ces deux études avaient pour objectif commun d'examiner l'effet d'une activité de dessin sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es. Pour rappel, nous avons formulé quatre hypothèses principales. Nous attendions, premièrement, que l'activité de dessin favorise une meilleure mémorisation du contenu, qu'il s'agisse d'informations textuelles ou illustrées (Hypothèse 1). Deuxièmement, nous supposions que le dessin améliorerait l'organisation spatiale des connaissances et conduirait à des performances supérieures aux tests de connaissances visuospatiales (Hypothèse 2). Troisièmement, nous postulions que cette activité de dessin, en mobilisant un traitement actif et approfondi des concepts anatomiques, soutiendrait une meilleure compréhension du contenu (Hypothèse 3). Enfin, nous avions fait l'hypothèse que la réalisation d'un dessin d'apprentissage à partir d'un modèle, permettrait aux apprenant·es d'ajuster leurs dessins et leurs connaissances en temps réel, ainsi, favoriserait une auto-évaluation plus précise de leurs connaissances (Hypothèse 4).

Notre première hypothèse, selon laquelle le dessin améliorerait la mémorisation du contenu des documents, n'a pas été validée. Dans l'étude 1, l'activité de dessin pendant l'apprentissage n'a pas favorisé la mémorisation et a eu un effet négatif lorsque celle-ci était évaluée à l'aide d'un test de type QCM (verbal), tandis que dans l'étude 2, aucun effet significatif n'a été observé lorsqu'elle a été évaluée par des questions ouvertes. L'activité de dessin ne permet pas aux apprenant·es de mieux mémoriser ces éléments que dans des conditions

d'apprentissage sans génération. Il est possible d'expliquer cette absence d'effet positif par la nature des questionnaires de mémorisation utilisés ici. Une étude récente a montré que le dessin peut améliorer l'apprentissage des informations illustrées, mais qu'il a également un impact négatif sur la mémorisation des informations non illustrées (Jamet & Michinov, 2022). Selon cet « effet de traitement focalisé », les apprenant·es ont tendance à donner la priorité aux éléments qu'iels doivent dessiner, au détriment des autres informations contenues dans le texte. Il est donc possible que les apprenant·es de la condition « dessin » aient accordé moins d'attention aux éléments du texte, ce qui peut expliquer l'absence d'effet du dessin sur la mémorisation, car le questionnaire utilisé ici ne faisait pas clairement la distinction entre les informations illustrées et non illustrées. Cela souligne la nécessité de mesures plus précises de la mémorisation dans les études futures, en faisant la distinction entre les informations présentées dans l'illustration et celles contenues uniquement dans le texte, afin d'évaluer l'impact du dessin sur le traitement des différentes sources d'information.

Conformément à la deuxième hypothèse, les apprenant·es ayant participé à l'activité de dessin obtiennent des scores nettement plus élevés au test de connaissances visuospatiales, ce qui suggère une représentation plus structurée de ces informations dans leur mémoire (Van Meter & Firetto, 2013).

Cependant, contrairement à notre troisième hypothèse, une meilleure organisation des connaissances anatomiques ne conduit pas à une meilleure compréhension du contenu dans notre étude. La compréhension implique de relier les nouvelles informations aux connaissances antérieures, de réaliser des inférences et d'intégrer les éléments conceptuels du texte. Or, le dessin ne semble pas solliciter l'ensemble de ces processus. Les résultats observés dans les tests de mémorisation le confirment. Les apprenant·es retiennent mieux les

informations illustrées et à composantes spatiales utiles pour dessiner, mais pas nécessairement les éléments conceptuels nécessaires à la compréhension globale du contenu. Ainsi, le dessin pourrait conduire les apprenant·es à se focaliser sur ce qui est pertinent pour réaliser le dessin, au détriment d'autres aspects du texte pourtant essentiels pour comprendre le contenu à apprendre.

En ce qui concerne la métacognition, les résultats sont plus nuancés entre les deux études. La première étude n'a montré aucune différence significative entre les deux groupes concernant cette mesure. Tandis que la deuxième étude a montré que les apprenant·es qui ont réalisé un croquis pendant le processus d'apprentissage se sont mieux évalués que les apprenant·es qui n'ont pas dessiné, ce qui valide notre quatrième hypothèse. Il est possible que la présence d'un support visuel pendant l'élaboration du dessin d'apprentissage ait permis aux apprenant·es de s'ajuster en temps réel et ait favorisé une évaluation plus précise des connaissances acquises, réduisant ainsi le biais d'auto-évaluation couramment observé dans la littérature. Ce résultat est conforme à ceux obtenus par Kollmer et al. (2020). En revanche, nous observons que les apprenant·es des groupes contrôle se sous-estiment dans leur auto-évaluation, ce qui n'est pas un résultat couramment observé dans la littérature à notre connaissance. En effet, des études ont montré une tendance à la surestimation chez les apprenant·es qui s'auto-évaluent après avoir appris en lisant un texte ou en regardant un support visuel (Eitel, 2016 ; Fiorella et al., 2024 ; Jaeger & Wiley, 2014). Les contenus anatomiques utilisés dans nos études sont peut-être particulièrement complexes, ce qui peut augmenter l'incertitude des apprenant·es et les conduire à se sous-estimer. De plus, des différences dans les scores de calibration obtenus entre les deux études peuvent expliquer cette sous-estimation. La calibration apparait meilleure pour le cours portant sur l'anatomie

de l'œil (étude 2) que pour le cours sur le rachis (étude 1). Cette différence peut s'expliquer par les objectifs distincts de deux contenus pédagogiques. Le cours sur le rachis vise l'apprentissage d'une démarche de réalisation de croquis anatomique, exigeante en termes de proportions, de positionnement des structures et d'interprétation spatiale. A l'inverse, le cours sur l'œil repose sur un dessin plus schématique, pour lequel l'exigence esthétique est moindre et moins déterminante pour la compréhension. Ces résultats suggèrent que la nature et la complexité du contenu à apprendre influencerait l'auto-évaluation des apprenant·es. Lorsque le dessin à réaliser est complexe, comporte de nombreux détails et demande une forte interprétation spatiale, les apprenant·es des groupes « dessin » semblent se focaliser davantage sur l'aspect esthétique du dessin, parfois au détriment de l'apprentissage, ce qui peut les conduire à se sous-estimer. En revanche, les apprenant·es des groupes contrôle semblent éprouver des difficultés à estimer leur niveau de compréhension, en particulier dans le cours portant sur le rachis. Ce cours décrit une démarche de construction du dessin anatomiques sans que les apprenant·es n'aient à le reproduire, ce qui pourrait compliquer l'évaluation de leur propre compréhension.

Pour finir, en ce qui concerne les perceptions des apprenant·es quant à l'utilité du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie, un résultat intéressant est à relever. Globalement, quel que soit leur condition d'apprentissage, l'ensemble des étudiant·es des deux études percevaient déjà le dessin comme une stratégie utile dès le pré-test, c'est-à-dire avant la mise en situation d'apprentissage, et cette perception est restée stable après l'activité.

4.2. Limites et perspectives

Ces deux études présentent plusieurs limites. Tout d'abord, la tâche de dessin proposée aux apprenant·es s'apparentaient à une activité de recopie, ce qui a pu conduire les apprenant·es à se focaliser uniquement sur les éléments illustrés et sur l'aspect essentiellement esthétique de leur dessin, au détriment de l'objectif d'apprentissage. Une piste intéressante consisterait à faire dessiner les apprenant·es de mémoire après une phase d'étude du contenu du cours (sans activité de génération). Par ailleurs, les mesures post-test utilisées ne permettaient pas de distinguer l'apprentissage des informations issues du texte de celles issues du modèle illustré. Cette limite est importante dans la mesure où des travaux récents ont mis en évidence un effet de traitement focalisé, selon lequel les apprenant·es tendent à prioriser les informations qu'iels doivent représenter (Jamet & Michinov, 2022a). Diversifier les mesures d'apprentissage en différenciant les questions portant spécifiquement sur les informations textuelles et celles portant sur les éléments illustrés permettrait d'évaluer plus finement l'effet du dessin sur les performances d'apprentissage. Enfin, la prise en compte de facteurs individuels, tels que les capacités spatiales des étudiant·es et la charge cognitive induite par la tâche de dessin, serait nécessaire pour identifier leur rôle sur la stratégie de dessin.

Les contraintes liées au contexte écologique de l'étude ont limité le temps consacré à l'activité de dessin ainsi que la taille des échantillons. La qualité des dessin réalisés pendant l'apprentissage n'a pas été examinée car il n'y a pas de comparaison possible avec le groupe contrôle. De même, le temps d'apprentissage n'a pas été pris en compte, car les apprenant·es du groupe « dessin » disposaient nécessairement d'un temps plus long que ceux du groupe contrôle, induit par la tâche de dessin.

5. Conclusion

Les résultats de cette étude ont mis en évidence les effets nuancés de l'activité de dessin sur l'apprentissage de l'anatomie. Ils ont souligné que, bien que le dessin puisse améliorer la mémorisation des connaissances visuospatiales, sa mise en œuvre doit être optimisée afin d'encourager le traitement actif de toutes les informations contenues dans le document. Adapter le contexte de la tâche de dessin et les instructions, afin d'encourager les apprenant·es à sélectionner, organiser et intégrer activement les informations, pourrait accroitre les avantages de cette stratégie tout en réduisant les biais. Pour répondre à ce besoin, le Chapitre 5 présentera une étude qui propose une segmentation de l'activité d'apprentissage en deux phases : une phase consacrée à la consultation du contenu à apprendre, et une phase consacrée à la génération de dessin. L'étude inclut également une diversité de questionnaires plus précis, spécifiquement conçus pour distinguer la rétention des informations issues du texte de celles provenant des illustrations. Enfin, différents types de tests, verbaux et spatiaux, sont mobilisés afin d'évaluer plus finement l'acquisition des connaissances anatomiques.

Synthèse du chapitre 4 :

Objectifs : Deux études visaient à examiner les effets d'une stratégie d'apprentissage par le dessin dans un contexte d'enseignement en anatomie.

Méthode : deux situations d'apprentissage ont été comparées :

- Une condition contrôle, sans activité de dessin.
- Une condition de dessin par recopie.

Hypothèse : un effet de la génération de dessin était attendu sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation.

Interprétation des résultats :

- Le dessin semble surtout soutenir le traitement visuospatial. Mais ses effets sur la mémorisation verbale et la compréhension sont limités.
- L'étude 2 montre un effet positif du dessin sur la précision de l'auto-évaluation.
- L'utilité perçue du dessin est élevée chez l'ensemble des participant·es.

Limites et perspectives :

- Éviter l'effet de traitement focalisé en segmentant l'activité.
- Diversifier les mesures pour distinguer la mémorisation des informations textuelles des informations illustrées.

Chapitre 5 : Effet du dessin et effet d'ordre sur l'apprentissage de l'anatomie et la précision de l'auto-évaluation[4]

1. Introduction

1.1. Contexte théorique

Dans cette étude, nous avons poursuivi le même objectif concernant l'effet de génération du dessin sur l'apprentissage des connaissances anatomiques et la précision de l'auto-évaluation, mais plusieurs améliorations ont été apportées au cadre de l'étude. Tout d'abord, les questionnaires d'évaluation des apprentissages ont été modifiées afin de mieux différencier les informations textuelles et illustrées. L'objectif était de mieux comprendre comment l'activité de dessin influence le traitement de ces différentes sources d'informations. Pour cette étude, la phase d'apprentissage a également été modifiée afin de séparer les activités de lecture et de génération. L'objectif était de surmonter les limites identifiées dans le Chapitre 4 en optimisant la répartition des charges cognitives entre les différentes étapes d'apprentissage. En adoptant une approche segmentée, nous avons cherché à mieux comprendre si la séparation des tâches pouvait améliorer l'intégration des informations textuelles tout en préservant les avantages associés à l'activité de génération. Cette hypothèse s'appuyait sur une étude visant à évaluer l'effet de la génération d'organisateurs graphiques

[4] L'étude présentée dans ce chapitre fait l'objet d'un article scientifique actuellement en soumission dans la revue Advances in Health Sciences Education : Leconte, L., & Jamet, E. (2025). Does learning by drawing from a multimedia document improve knowledge and self-assessment in anatomical education?.

(OG) sur l'apprentissage (Colliot & Jamet, 2020). Dans cette étude, les apprenant·es devaient dessiner un OG et apprendre le contenu du texte associé en une seule étape ou en deux étapes successives (condition séquentielle). Cette étude a montré que la génération d'OG n'améliorait la mémorisation et la compréhension que lorsque l'activité était organisée de manière séquentielle, comprenant d'abord une étape de génération puis une phase de lecture, en comparaison avec un groupe contrôle ayant reçu un OG fourni. Selon les auteur·es, cette organisation séquentielle a réduit la surcharge cognitive induite par la double tâche et favorise de meilleures performances d'apprentissage. Une autre raison d'inclure une phase supplémentaire de lecture sans dessin est d'encourager les apprenant·es à lire le texte plus attentivement sans se concentrer inutilement sur les éléments à dessiner, afin d'éviter l'effet de traitement focalisé (Jamet & Michinov, 2022).

Si une phase de lecture supplémentaire peut être bénéfique, une question reste en suspens dans la littérature : dans quel ordre est-il préférable de réaliser les deux activités, à savoir le dessin et la lecture ? Dans leur étude, Zhang et Fiorella (2019) ont montré que les apprenant·es qui avaient réalisé une activité de dessin dans le cadre de leur apprentissage d'un document sur le système circulatoire humain avaient obtenu de meilleurs résultats d'apprentissage que celleux qui n'avaient pas dessiné. Leurs résultats ont également montré que les apprenant·es qui ont d'abord regardé les illustrations fournies, puis réalisé un dessin, ont obtenu de meilleurs résultats que celleux qui ont réalisé un dessin avant de consulter les illustrations fournies. Il semblerait que les aprenant·es tirent profit de cet ordre des tâches : en dessinant d'abord, ils ont élaboré leur représentation mentale en intégrant les informations du texte à leur dessin avant d'étudier l'illustration fournie comme rétroaction. Selon les auteurs, le dessin a servi d'activité préparatoire et a permis aux apprenant·es de traiter ensuite l'image fournie

de manière plus détaillée. Le deuxième objectif de notre étude était donc de tester un effet possible de l'ordre des tâches entre les phases de dessin et de lecture.

1.2. Hypothèses

En ce qui concerne les hypothèses, nous prévoyons que les apprenant·es qui ont dessiné pendant le processus d'apprentissage produiront des dessins de meilleure qualité dans le test de connaissances visuospatiales, en particulier lorsqu'iels faisaient partie du groupe « dessin-consultation » (Hypothèse 1). Concernant les tests de mémorisation sous forme verbal (QCM), nous avons anticipé un effet positif du dessin sur le rappel des informations illustrées. Sur la base de l'effet d'ordre observé dans la littérature, nous nous attendons à ce que l'effet du dessin soit plus important dans le groupe « dessin-consultation » (Hypothèse 2). L'effet du dessin sur le rappel des informations textuelles (i.e., non présentes dans l'illustration) a été analysé de manière plus exploratoire. Contrairement aux études précédentes (Jamet & Michinov, 2022; Rochat et al., 2022), nous ne nous attendons pas à un effet négatif du dessin sur l'apprentissage de ces informations, car l'effet de traitement focalisé devrait avoir été neutralisé dans notre étude par la phase de lecture incluse dans la session d'apprentissage. De plus, en facilitant l'organisation des connaissances, nous supposons que le dessin favorisera la compréhension. Cet effet devrait être plus important dans le groupe « dessin-consultation » (Hypothèse 3). Enfin, comme dans l'étude 1, nous nous attendons à ce que l'activité de dessin améliore la précision de l'auto-évaluation (Hypothèse 4).

2. Méthode

2.1. Participant·es

Cette étude a été menée auprès de 97 étudiant·es en première année de formation en soins infirmiers. L'âge moyen était de 22.6 ans (*écart-type* = 6.74). L'échantillon était composé de 18 hommes, 78 femmes et une personne non binaire. Les participant·es ont été réparti·es dans deux groupes expérimentaux : 33 faisaient partie du groupe « sans dessin », 35 du groupe « consultation-dessin » (groupe CD), et 29 du groupe « dessin-consultation » (groupe DC). Huit participant·es ont été retiré·es des analyses car leurs données sur tablette n'ont pas pu être récupérées.

2.2. Matériel d'apprentissage

2.2.1. Contenus pédagogiques

Le matériel pédagogique était identique à l'étude 2 du Chapitre 4 (Annexe B). Il portait sur l'anatomie de l'œil et a été conçu avec deux experts formateurs en anatomie. Il se présentait sous forme d'une leçon composée de textes accompagnés d'illustrations, répartis en six étapes. Chaque étape abordait une structure spécifique de l'œil.

2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH

Le logiciel IntuiSKETCH a été utilisé. A partir de cette présente étude, celui-ci a été modifié afin d'ajouter la possibilité d'un rejeu du contenu. Ainsi, l'apprentissage sur le logiciel se déroulait en deux phases successives, de sorte que l'ensemble des apprenant·es puisse consulter deux fois le même contenu du cours. Ce dispositif visait à dissocier les activités de consultation et de génération pour les groupes impliqués dans une tâche de dessin. Chaque phase correspondait soit à une simple consultation du contenu sans activité de dessin (phase de consultation), soit à une consultation accompagnée d'une activité de dessin (phase de génération). L'ordre de ces deux phases variait selon les conditions expérimentales, afin d'examiner l'effet d'ordre des activités sur les performances d'apprentissage. Cette combinaison des modes est décrite en Préambule, dans la partie Paramétrage des phases d'apprentissage.

2.3. Mesures

Les mesures du pré-test, les connaissances préalables (Annexe O), les capacités spatiales (Annexe L) et des variables subjectives (Annexe H) du pré-test étaient identiques à celles de l'étude 2. En revanche, le test de mémoire verbale et les tests de compréhension ont été remplacés par des questions à choix multiples, afin de distinguer les informations provenant du texte de celles provenant de l'illustration.

2.3.1. Variables contrôles

Des informations sur les participant·es, leur intérêt pour le dessin et l'anatomie ont été mesurées en pré-test. Les informations sociodémographiques concernaient des informations de type âge, genre, latéralité. Cinq items ont permis d'évaluer l'intérêt et le niveau perçu des étudiant·es pour l'anatomie et le dessin. Iels ont été amené·es à estimer leur intérêt et leur niveau perçu sur une échelle allant de 1 « très faible » à 9 « très élevé ». Ces mesures sont identiques aux études du chapitre 4 (Annexe H).

Le **test de connaissances préalables** portait sur des connaissances anatomiques de l'œil et comprenait 5 questions ouvertes. Le score total était sur 9 points. Ce test était identique à celui utilisé dans l'étude 2 du chapitre 1 (Annexe O).

Les **capacités spatiales** ont été mesurées à l'aide du Paper Folding Test (Ekstrom & Harman, 1976). Il se compose de deux parties de 10 questions à choix multiples, chacune chronométrée en 3 minutes (Annexe L). Pour répondre au test, les participant·es devaient manipuler mentalement le pliage et le dépliage d'une feuille de papier qui a été trouée, et indiquer la bonne réponse parmi cinq réponses possibles. Un point est attribué par bonne réponse, ou un point est soustrait en cas d'erreur ou d'absence de réponse.

2.3.2. Questionnaire d'apprentissage

Le questionnaire d'apprentissage a été modifié par rapport à celui utilisé en étude 2. Deux catégories de questions ont été créées pour le **test de mémorisation**, présenté sous forme verbal, de type QCM). La première portait exclusivement sur **des informations**

textuelles (c'est-à-dire des éléments présents uniquement dans le texte). Cette catégorie comprenait 8 items pour un maximum de 12 points. Voici un exemple de question : « *À quoi servent les photorécepteurs ?* ». La deuxième catégorie comprenait des questions sur des **informations illustrées**, qui exigeaient des apprenant·es qu'iels se souviennent mentalement d'éléments anatomiques afin de répondre correctement. Cette catégorie comprenait 7 items pour un score maximal de 12 points (exemple d'item : « *Où se trouve l'humeur aqueuse ?* »).

Afin de garantir l'indépendance des items, chaque question a été conçue de manière à ce que sa réponse ne puisse pas être utilisée pour déduire la réponse à une autre question. Cette méthodologie visait à évaluer et à différencier la mémorisation des connaissances à partir de textes et d'images, afin de mieux comprendre comment les apprenant·es traitent l'information.

Le test de compréhension comprenait 3 questions pour un maximum de 3 points (par exemple « Quelle partie de l'œil est affectée chez les personnes atteintes d'hétérochromie (yeux de couleurs différentes) ? »). Plus précisément, il s'agissait de question de transfert, c'est-à-dire de questions évaluant la capacité des apprenant·es à mobiliser les connaissances acquises pour les appliquer à de nouveau contexte ou à la résolution de problèmes inédits.

Le test de connaissances visuospatiales était identique à celui de l'étude 1. Comme dans l'étude 2, la qualité des dessins réalisés lors du post-test a été évaluée par deux évaluateurs (ICC > .90), sur deux scores de présence et de précision.

2.3.3. Mesure de la précision de l'auto-évaluation

La mesure d'auto-évaluation est identique aux expérimentations du chapitre 1. Les apprenant·es estimaient leur apprentissage en post-test, après l'activité d'apprentissage, en indiquant une note sur 20. Leur estimation ainsi que la note réelle obtenu au post-test d'apprentissage ont été ensuite converties en pourcentage, puis soustrait. Cette variable mesure donc l'écart entre la perception qu'un·e apprenant·e a de son propre apprentissage et sa performance réelle. Plus le score est proche de 0, plus l'auto-évaluation est précise.

2.3.4. Mesure de l'utilité perçue du dessin

La mesure d'utilité perçue était identique aux études du Chapitre 1 (Annexe I). Elle était composée de quatre mêmes items qu'en étude 2 et la mesure était relevée en pré-test ainsi qu'en post-test afin d'évaluer l'évolution des perceptions des apprenant·es.

2.4. Procédure

L'étude s'est déroulée dans un amphithéâtre de l'IFPS. Les participant·es ont été accueilli·es par groupe de TD. Nous avions affecté chaque groupe a une de nos conditions expérimentales. Les apprenant·es disposaient d'une tablette équipée d'un stylet Dell Latitude 13.3". Dans un premier temps, iels ont reçu une présentation générale du contexte de l'étude et ont été invité·es à signer un formulaire de consentement, garantissant leur accord volontaire à participer.

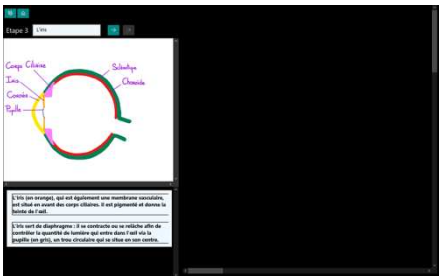
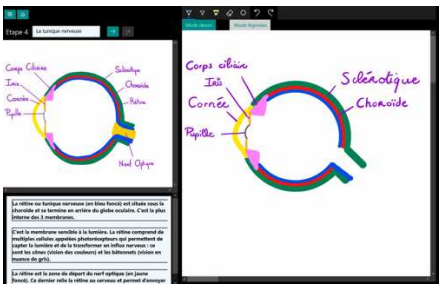
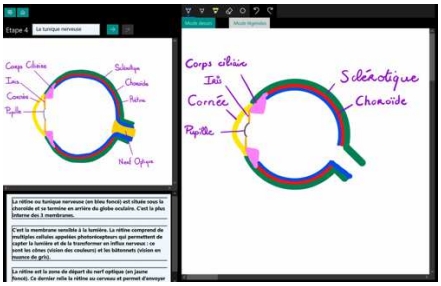
Avant de débuter l'apprentissage, des mesures contrôles ont été recueillies à l'aide d'un pré-questionnaire. Celui-ci permettait d'évaluer les variables individuelles susceptibles d'influencer les résultats telles que les caractéristiques sociodémographiques, l'intérêt perçu des apprenant·es pour l'anatomie et le dessin, les connaissances antérieures sur l'anatomie de l'œil et leurs capacités spatiales. Ensuite, les apprenant·es ont réalisé une étape de familiarisation avec le logiciel dans laquelle iels devaient reproduire le dessin simple d'une maison. Cette étape visait à s'assurer que chacun·e comprenait non seulement le fonctionnement de l'interface mais également le déroulée de l'activité proposée par la condition expérimentale. En effet, dans cette phase, le logiciel était programmé de façon à reproduire fidèlement les conditions expérimentales auxquelles les étudiant·es allaient être confronté·es (voir Figure 26).

Enfin, les apprenant·es réalisaient la phase d'apprentissage. Durant cette phase, iels étudiaient le contenu du cours, étape par étape. Les consignes variaient en fonction de la condition expérimentale :

- **Condition contrôle :** les apprenant·es consultaient le contenu du cours deux fois, sans réaliser d'activité de dessin.
- **Condition consultation-dessin (CD) :** les apprenant·es effectuaient une première consultation du cours sans dessiner, puis réalisaient une seconde consultation au cours de laquelle iels devaient produire un dessin d'apprentissage.
- **Condition dessin-consultation (DC) :** les apprenant·es consultaient d'abord le cours en réalisant un dessin d'apprentissage, puis effectuaient une seconde consultation sans activité de dessin et sans la possibilité de corriger leur propre dessin.

A l'issue de l'apprentissage, les apprenant·es ont complété un questionnaire post-test permettant de mesurer l'intérêt, l'utilité et la métacognition auto-rapportés, ainsi que les performances d'apprentissage.

Figure 26.
Captures d'écran des interfaces apprenant·es en fonction des conditions d'apprentissage (étude 3).

Conditions d'apprentissage	Captures d'écran des interfaces	
	Phase 1	Phase 2
Groupe sans dessin		
Groupe consultation-dessin		
Groupe dessin-consultation		

3. Résultats

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel JAMOVI, avec un niveau de signification de .05. Les variables de contrôle ont été analysées à l'aide de tests ANOVA, la condition d'apprentissage étant considérée comme un facteur entre les groupes. Des analyses de covariance (ANCOVA) ont été réalisées pour examiner les différences entre les groupes dans les variables dépendantes, en contrôlant l'effet des connaissances préalables et des capacités spatiales. Des contrastes simples ont été utilisés pour comparer chaque groupe avec le groupe « sans dessin ». Des tests de normalité et d'homogénéité de la variance ont été effectués. Lorsque les conditions d'application n'étaient pas respectées, des tests non paramétriques ont été réalisées.

3.1. Variables contrôles

Avant de tester les hypothèses, nous avons vérifié que les groupes étaient équivalents et ne présentaient pas de différences en termes de sexe, d'âge, d'intérêt pour le dessin et l'anatomie, de niveau perçu et de connaissances préalables concernant l'anatomie de l'œil, de capacités spatiales et de connaissances préalables (voir Tableau 4). Cela s'est avéré être le cas pour toutes les variables.

Tableau 4.
Moyennes et écart-types concernant les variables contrôles.

	Groupe contrôle	Groupe consultation-dessin	Groupe dessin-consultation	Valeur statistique	ddl	*p*
Variables contrôles	**M (ET)**	**M (ET)**	**M (ET)**			
Genre	-	-	-	$\chi^2 = 3.93$	4	.415
Age	23 (7.89)	23.3 (7.08)	21.4 (4.66)	*F* = .993	2	.376
Intérêt pour l'anatomie (1 – 9)	7.61 (.966)	7.66 (1.03)	7.55 (.910)	*F* = .094	2	.911
Intérêt pour le dessin (1 – 9)	4.76 (2.17)	4.63 (2.33)	5.41 (1.72)	*F* = 1.474	2	.237
Niveau perçu en anatomie (1 – 9)	5.91 (1.07)	5.74 (.980)	5.55 (1.33)	*F* = .675	2	.513
Niveau de connaissance perçu sur l'oeil (1 – 9)	3.36 (1.43)	3.83 (1.46)	3.79 (1.68)	*F* = 1.014	2	.369
Niveau perçu en dessin (1 – 9)	3.61 (1.62)	3.20 (2.03)	3.76 (1.81)	*F* = .725	2	.489
Capacités spatiales (-20 – 20)	8.73 (7.03)	10.2 (7.30)	11.3 (8.09)	*F* = .903	2	.407
Connaissances préalables (/9)	1.42 (.936)	1.46 (.919)	1.62 (1.15)	*F* = .284	2	.753

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type. **p* < .05 ; ***p* < .01 ; ****p* < .001

3.2. Performances d'apprentissage

Concernant le **test de connaissances visuospatiales**, les analyses n'ont révélé aucun effet principal des conditions d'apprentissage sur le *score de présence*, $F(2, 92) = 2.366$, $p = .100$, $\eta^2 p = .049$. En revanche, en ce qui concerne les *scores de précision*, les résultats ont montré un effet significatif des conditions d'apprentissage, $F(2, 92) = 4.44$, $p = .014$, $\eta^2 p = .088$. Les analyses de contraste ont révélé une différence significative entre le groupe « sans dessin » et groupe « CD », $t(92) = 2.80$, $p = .006$, ainsi qu'entre le groupe « sans dessin » et la condition

« DC », $t(92) = 2.27$, $p = .026$. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les deux conditions de dessin, $t(92) = .394$, $p = .694$. Conformément à l'Hypothèse 1, ces résultats suggèrent en partie que les conditions impliquant une activité de dessin pendant l'apprentissage favorisent un rappel des connaissances visuospatiales nettement plus précis que chez les apprenant·es du groupe « sans dessin ». Ces résultats ont confirmé l'effet du dessin sur la précision du rappel visuospatial, mais aucun effet d'ordre des activités n'a été démontré. En ce qui concerne le **test de rappel verbal (QCM),** les résultats concernant le *rappel d'informations illustrées* n'ont révélé aucune différence significative entre les conditions expérimentales, contrairement à notre deuxième hypothèse, $F(2, 92) = .186$, $p = .830$, $\eta^2p = .004$ (voir Tableau 5). Pour le *rappel d'éléments présents uniquement dans le texte*, les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les conditions expérimentales, $F(2, 92) = 1.37$, $p = .258$, $\eta^2p = .029$. Enfin, concernant le **test de compréhension** (Hypothèse 3), aucune différence significative n'a été observée en fonction de la condition d'apprentissage, $F(2, 92) = 2.002$, $p = .141$, $\eta^2p = .042$.

3.3. Précision de l'auto-évaluation

Conformément à l'Hypothèse 4, l'analyse a révélé un effet de la condition d'apprentissage sur la précision de l'auto-évaluation, $F(2, 91) = 4.78$, $p = .011$, $\eta^2p = .095$. Les analyses de contraste ont montré une différence significative entre le groupe « sans dessin » et le groupe « CD », $t(91) = 2.98$, $p = .033$, mais aucune différence entre les deux conditions de dessin, $t(91) = .684$, $p = .496$. Comme dans l'étude 2, ces résultats ont mis en évidence une meilleure précision de l'auto-évaluation chez les apprenant·es qui ont dessiné pendant l'apprentissage par rapport à celleux qui ne l'ont pas fait (voir Tableau 5).

Tableau 5.
Moyennes et écart-types des résultats d'apprentissage.

		Groupe contrôle	Groupe consultation-dessin	Groupe dessin-consultation
Performances d'apprentissage		**M (ET)**	**M (ET)**	**M (ET)**
Test de rappel verbal	Information textuelles (/12)	3.67 (2.09)	3.37 (1.48)	4.17 (1.65)
	Informations illustrées (/12)	5.39 (1.89)	5.40 (2.20)	5.38 (2.78)
Test de connaissances visuospatiales	Score de présence (/24)	17.5 (4.40)	19.5 (3.28)	19.1 (4.15)
	Score de précision (/24)	14.8 (5.20)	18 (3.94)	17.9 (4.95)
Comprehension (/3)		1.18 (.808)	1.37 (.808)	1.66 (.857)
Précision de l'auto-évaluation		-29.5 (20.8)	-14.3 (19.7)	-16.5 (19.6)

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

3.4. Utilité perçue du dessin

L'analyse n'a révélé aucune différence significative entre les deux moments de la mesure, $F(1, 91) = .056$, $p = .813$, $\eta^2p = .001$. Aucun effet principal de la condition d'apprentissage n'a été observé, $F(2, 91) = .875$, $p = .420$, $\eta^2p = .019$. De plus, l'analyse ne révèle aucun effet d'interaction moment*condition, $F(2, 91) = .649$, $p = .525$, $\eta^2p = .014$. Les statistiques descriptives sont présentés dans le **Tableau 6** ci-dessous. Ces résultats indiquent que les scores d'utilité perçue de la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie ne différaient pas de manière significative entre les conditions et les moments de mesure.

Tableau 6.

Moyennes et écart-types obtenus aux pré et post tests mesurant l'utilité perçue par les apprenant·es concernant la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie.

Utilité perçue	Conditions d'apprentissage	M	ET
Pré-test	**Contrôle**	7.61	1.56
	Consultation-Dessin	7.70	1.55
	Dessin-Consultation	7.63	1.21
Post-test	**Contrôle**	7.84	1.27
	Consultation-Dessin	8.03	1.18
	Dessin-Consultation	7.65	1.73

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

4. Discussion

4.1. Interprétation des résultats

L'objectif de ce chapitre était d'examiner les effets d'une activité de dessin sur l'apprentissage de contenus anatomiques, en évaluant la mémorisation, la compréhension et la précision de l'auto-évaluation. Premièrement, nous prévoyions que les apprenant·es ayant dessiné pendant l'apprentissage produiraient des dessins de meilleure qualité au test de connaissances visuospatiales, en particulier dans le groupe « dessin-consultation » (Hypothèse 1). Les résultats de cette étude ont montré que le dessin a un effet positif sur la mémorisation des connaissances anatomiques visuospatiales. Ce résultat confirme l'Hypothèse 1 et l'effet positif du dessin sur l'apprentissage des connaissances visuelles anatomiques observés dans le Chapitre 4. Le dessin faciliterait donc l'organisation spatiale des connaissances, comme le démontre la qualité supérieure des dessins réalisés au post-test par

les apprenant·es appartenant aux groupes qui ont dessiné pendant la phase d'apprentissage. Ce résultat s'explique par le rôle du dessin dans l'encodage visuospatial des connaissances, conformément au modèle CMDC (Van Meter & Firetto, 2013).

Deuxièmement, nous attendions un effet positif du dessin sur le rappel des informations illustrées. Sur la base d'un effet d'ordre, nous anticipions que cet effet serait plus marqué dans le groupe « dessin-consultation » (Hypothèse 2). Cependant, l'effet du dessin n'a pas été retrouvé lorsque les connaissances anatomiques visuospatiales (informations illustrées) ont été évaluées à l'aide d'un test de rappel verbal. Ces résultats soulignent l'importance du choix des tests utilisés pour évaluer les connaissances en anatomie. Comme l'ont rapporté Langlois et al. (2017) et Roach et al. (2021), les tests verbaux standardisés, tels que ceux impliquant des QCM, peuvent sous-estimer les avantages des stratégies d'apprentissage impliquant des représentations spatiales car ils ne reflètent pas pleinement la qualité des connaissances intégrées sous forme visuelle. A l'inverse, les évaluations basées sur des tâches de dessin ou spatiales semblent être plus sensibles aux effets du dessin en tant que stratégie d'apprentissage, qui peuvent être sous-estimés si l'évaluation repose uniquement sur des tests verbaux traditionnels.

De plus, aucune différence n'a été révélée entre les groupes en ce qui concerne la mémorisation des informations textuelles, également évaluée à l'aide d'un test verbal de type QCM. Ce résultat indique d'abord que l'activité de dessin ne permet pas de mieux retenir les éléments du texte. Les apprenant·es semblent privilégier les informations utiles pour réaliser le dessin, au détriment des contenus textuels explicatifs sans toutefois que nous reproduisons ici l'effet négatif observé sur leur mémorisation dans d'autres études (Jamet & Michinov, 2022). Par ailleurs, la segmentation entre les phases de consultation et de génération n'a pas

produit l'effet attendu. L'objectif initial de séparer ces deux étapes afin d'inciter les apprenant·es à traiter plus attentivement le texte n'a pas suffi à orienter leur attention sur l'ensemble des sources d'informations. Ces observations suggèrent que l'effet de traitement focalisé engendré par la tâche de dessin demeure bien présent. Malgré la segmentation de l'activité, les apprenant·es continuent à concentrer leurs ressources cognitives sur les éléments visuels et spatiaux nécessaire au dessin.

Troisièmement, nous supposions que le dessin favoriserait la compréhension en facilitant l'organisation des connaissances, avec un effet plus fort dans la condition « dessin-consultation » (Hypothèse 3). L'étude n'a montré aucun effet du dessin sur cette mesure, ce qui indique que le dessin n'a pas favorisé une intégration plus profonde du contenu. Cette observation rejoint les conclusions de Cromley (2020), qui a constaté que la stratégie d'apprentissage par le dessin facilitait principalement l'apprentissage facteur et que ses effets sur la compréhension pouvaient être mitigés. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Premièrement, les scores de compréhension étaient globalement faibles, ce qui suggère que la tâche d'apprentissage elle-même était peut-être particulièrement exigeante. Deuxièmement, le matériel d'étude consistait principalement en une anatomie descriptive, nécessitant la mémorisation de structures plutôt qu'un véritable apprentissage conceptuel. Compte tenu de cela, il serait nécessaire de reproduire l'étude en utilisant d'autres supports pédagogiques incluant des concepts d'anatomie fonctionnelle afin de déterminer si l'effet de l'activité de dessin pourrait être renforcé dans un contexte où les relations entre les structures anatomiques et leurs fonctions sont abordées de manière plus explicite.

Enfin, nous nous attendions à ce que le dessin améliore la précision de l'auto-évaluation, comme observé dans le chapitre précédent (Hypothèse 4). Les résultats obtenus ont montré

que les apprenant·es qui ont réalisé un dessin pendant le processus d'apprentissage ont évalué leur niveau de compréhension avec plus de précision que celleux du groupe contrôle. Ce résultat concorde avec les résultats de Kollmer et al. (2020) et suggèrent que la réalisation de dessins, en offrant un feedback, aide les apprenant·es à mieux ajuster leur perception de leur apprentissage par rapport à leurs performances réelles. L'hypothèse 4 est validée, la présence d'un modèle visuel pendant la tâche de dessin permet aux apprenant·es de s'adapter en temps réel, réduisant ainsi les biais fréquemment observés dans les auto-évaluations.

Un autre objectif de cette recherche était d'examiner si l'ordre dans lequel les tâches de lecture et de dessin étaient effectuées influençait les performances d'apprentissage des apprenant·es. Il a été constaté que l'ordre de ces activités n'avait aucun effet sur les performances d'apprentissage ou la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es, contrairement à ce qui a déjà été montré dans la littérature (Colliot & Jamet, 2020). Cette conclusion remet en question l'hypothèse selon laquelle le dessin peut servir de préparation cognitive ou que la révision du cours après avoir dessiné peut agir comme feedback facilitant l'ajustement des connaissances. Ces observations suggèrent que l'effet du dessin sur l'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation repose principalement sur le processus de dessin lui-même, indépendamment de l'ordre dans lequel les tâches d'apprentissage sont effectuées.

4.2. Limites et perspectives

Malgré les contributions de cette étude, plusieurs limites doivent être prises en compte. Comme dans les deux premières études du Chapitre 4, la principale limite de cette troisième expérimentation réside dans la nature de la tâche de dessin, qui s'apparente à une activité de recopie. Cette activité a pu inciter les apprenant·es à se concentrer sur l'esthétique

de leur propre production plutôt que sur l'objectif d'apprentissage. Bien que le dessin puisse favoriser l'engagement, l'activité de dessin telle qu'effectuée ici (recopie) ne semble pas adaptée pour exploiter pleinement les bénéfices cognitifs du dessin d'apprentissage. Pour renforcer le caractère génératif de la tâche, il serait pertinent de demander aux apprenant·es de réaliser leurs dessins de mémoire, de manière à stimuler un traitement plus actif et à soutenir la consolidation des apprentissages.

En ce qui concerne l'évaluation des connaissances visuospatiales, il serait pertinent de diversifier les outils utilisés, par exemple en utilisant des tests de complétion ou des épreuves de reconnaissances à partir de photographies, plus proches de certaines modalités d'examen des apprenant·es. Cela permettrait également de limiter un possible effet d'apprentissage liée à la tâche employée dans cette étude. En effet, le test de connaissances visuospatiales consistait à redessiner l'anatomie de l'œil, une structure anatomique que les apprenant·es des deux conditions avec génération de dessin avaient déjà eu l'occasion de reproduite pendant la phase d'apprentissage. Le meilleur rappel observé pourrait ainsi s'expliquer, au moins en partie, par cet effet d'entrainement.

5. Conclusion

Les résultats de cette étude indiquent que, bien que les effets du dessin sur l'apprentissage soient limités, cette stratégie présente un avantage notable pour l'acquisition et l'organisation des connaissances visuospatiales anatomiques ainsi que pour la précision de l'auto-évaluation. En revanche, la segmentation des phases de consultation et de génération n'a pas produit les résultats attendus, et aucun effet d'ordre de ces phases n'a été observé.

Les résultats et limites mis en avant dans cette étude invitent à envisager d'autres formes de modalités de génération de dessin, notamment en amenant les apprenant·es à réaliser leur dessin de mémoire. Ce mode de génération est testé dans la prochaine étude, où il est comparé à la recopie et à un groupe contrôle. Les spécificités et les enjeux cognitifs associés à la génération de mémoire sont présentés dans le chapitre suivant.

Synthèse du chapitre 5

Objectifs : Examiner les effets d'une stratégie d'apprentissage par le dessin et l'effet d'ordre liée à la segmentation de l'activité.

Méthode : trois conditions d'apprentissage ont été comparées : Contrôle, Consultation-dessin, Dessin-consultation.

Hypothèse : un effet de la génération de dessin était attendu sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation, avec un effet plus marqué pour la condition dessin-consultation.

Interprétation des résultats :

- Le dessin améliore le rappel des connaissances visuospatiales et illustrées, ainsi que la précision de l'auto-évaluation.
- Aucun effet du dessin sur le rappel des éléments textuels et la compréhension.
- Aucun effet d'ordre sur les performances.
- Utilité perçue du dessin élevée chez l'ensemble des participant·es.

Limites et perspectives :

- Effet de traitement focalisé toujours présent.
- Éviter la recopie en introduisant une difficulté désirable.

Chapitre 6 : Effet du mode de génération de dessin sur l'apprentissage

1. Introduction

1.1. Contexte théorique

Précédemment, nous avons évalué une activité de dessin par recopie qui consiste à reproduire un modèle fourni d'une structure anatomique. Cette pratique s'apparente à la stratégie de dessin telle que décrite dans la littérature, mais s'en distingue par l'usage d'un document combinant texte et illustration. Toutefois, cette modalité pourrait s'avérer moins efficace que de dessiner à partir d'un texte seul. En effet, si la recopie favorise la production de dessins précis et de qualité, elle risque de susciter un traitement des informations relativement passif, limitant l'engagement cognitif de l'apprenant·e et, par conséquent, la qualité de la représentation en mémoire. De plus, comme le montrent les précédentes études, cette modalité tend à amener les apprenant·es à se focaliser uniquement sur une partie des informations, principalement les éléments visuels et spatiaux présents dans les illustrations.

Afin de favoriser l'élaboration d'une représentation interne du contenu, il est possible d'éviter l'effet de recopie en demandant aux apprenant·es de reproduire un dessin à partir de leur mémoire après avoir été exposé à un modèle qui n'est plus fourni pendant la génération. Cette approche repose sur un processus de récupération active, durant lequel les apprenant·es doivent mobiliser, réorganiser et reconstruire les informations encodées. Bien qu'elle puisse entrainer une qualité de dessin inférieure à celle de la recopie, cette stratégie devrait

permettre de meilleures performances en termes de rappel et de compréhension, grâce à l'engagement cognitif plus important qu'elle implique. Elle serait donc susceptible d'entrainer un effet de difficulté désirable dont les conséquences seraient positives sur l'apprentissage. Le principe de difficulté désirable a été introduit par Bjork (2014) pour montrer que certaines conditions d'apprentissage peuvent rendre la tâche difficile à court terme mais favoriser la rétention et le transfert à long terme. Selon cette approche, la difficulté devient désirable lorsqu'elle sollicite un traitement plus profond de l'information, sans toutefois dépasser les capacités de la mémoire de travail de l'apprenant·e. Bjork et Bjork (2011) expliquent ce phénomène en distinguant deux forces de la mémoire : la force de récupération, qui renvoie à la facilité momentanée avec laquelle une information peut être rappelée, et la force de stockage, qui reflète la solidité et la durabilité de son ancrage en mémoire. Les conditions qui rendent la récupération plus difficile entrainent une augmentation plus importante de la force de stockage, et donc une consolidation plus durable des apprentissages. Ainsi, le dessin de mémoire pourrait constituer une forme de difficulté désirable, dans la mesure où il requiert un effort de récupération active plus important que la recopie immédiate, mais apporte en retour des bénéfices à long terme.

Dans le cadre de cette étude, la distinction entre dessin de mémoire et dessin par recopie peut être éclairée par la théorie de la charge cognitive. Pour rappel, cette théorie, développée initialement par Chandler et Sweller (1991), repose sur l'idée centrale que l'apprentissage humain est limité par les capacités de la mémoire de travail. Ces limites concernent à la fois la quantité d'éléments pouvant être traités simultanément et la durée pendant laquelle ces éléments peuvent être maintenus. Dans une tâche d'apprentissage, l'apprenant·e doit manipuler des informations en mémoire de travail pour établir des liens, formuler des modèles

mentaux et les stocker en mémoire à long terme. Cependant, la mémoire de travail étant contrainte, tout effort trop couteux risque d'entraver l'apprentissage. Sweller, van Merriënboer et Paas (1998) distinguent trois types de charge. La charge cognitive intrinsèque est associée à la complexité inhérente au contenu et dépend du degré d'interactivité entre les éléments d'information qui doivent être gérés simultanément en mémoire de travail. Elle dépend du nombre d'éléments qui interagissent dans la tâche, ainsi que du niveau de connaissances préalables des apprenant·es. Plus les éléments sont nombreux et fortement interdépendants, plus la charge est élevée. A l'inverse, lorsque l'apprenant·e possède déjà des connaissances concernant le sujet étudié, cela permet d'alléger la charge intrinsèque. La charge extrinsèque, quant à elle, résulte de la manière dont le matériel d'apprentissage est conçu. Elle reflète la présentation de l'information, en particulier si elle n'est pas optimale. Cette charge est considérée comme non désirable. Enfin, la charge cognitive utile, qui correspond à l'investissement cognitif nécessaire pour comprendre et acquérir un contenu d'apprentissage. Elle représente la quantité de ressources cognitives disponibles dans la mémoire de travail, qui peut être allouée à l'activation de processus cognitifs conscients, facilitant ainsi un apprentissage actif efficace. Contrairement aux deux autres types de charges, qui sont imposées par la tâche elle-même et/ou par le contenu pédagogique, la charge cognitive germane reflète l'engagement actif de l'apprenant·e. Elle est donc considérée comme une charge désirable et est souvent interprétée comme un indicateur de la motivation, de l'engagement cognitif et de la régulation de l'effort en contexte d'apprentissage (Klepsch et al., 2017). Selon la théorie de la charge cognitive, les trois types de charges sont additives. Leur somme ne doit pas dépasser la capacité totale de la mémoire de travail. Ainsi, l'objectif est de réduire la charge cognitive extrinsèque, de gérer la charge cognitive intrinsèque et de favoriser la charge cognitive germane.

Dans cette perspective, le dessin de mémoire peut être envisagé comme une activité qui accroit la charge cognitive germane tout en introduisant une difficulté désirable. L'efficacité d'une telle tâche repose sur un équilibre : la difficulté doit être suffisante pour stimuler un traitement en profondeur et favoriser la consolidation des connaissances, sans pour autant dépasser les capacités de la mémoire de travail. Autrement dit, la difficulté n'est bénéfique que tant qu'elle se traduit par une charge utile (germane) et non par une surcharge. En effet, pour qu'une difficulté soit « désirable », elle doit solliciter un effort cognitif orienté vers la compréhension, et non simplement augmenter la charge mentale. Lorsqu'une tâche de dessin engage l'apprenant·e dans la récupération active des connaissances, leur organisation et leur intégration dans une représentation cohérente, elle favorise un traitement en profondeur et renforce la solidité du stockage en mémoire à long terme (Bjork & Bjork, 2011). A l'inverse, si la tâche est trop complexe ou insuffisamment guidée, l'effort requis dépasse les ressources disponibles en mémoire de travail : la charge extrinsèque augmente, ce qui entrave le traitement des informations et réduit les bénéfices de l'activité. Ainsi, l'effet positif du dessin dépend d'un niveau optimal de difficulté de difficulté, qui favorise l'engagement cognitif sans provoquer de surcharge. Cet équilibre peut être modulé par plusieurs facteurs, notamment la complexité du contenu, le niveau de guidage fourni et les caractéristiques des apprenant·es.

Les trois conditions d'apprentissage de l'étude présentée dans ce chapitre permettent d'examiner comment le niveau de difficulté introduit par la tâche de dessin influence la qualité de l'apprentissage. La condition contrôle, dans laquelle les apprenant·es consultent le contenu sans activité de dessin, correspond à une situation faiblement exigeante sur le plan cognitif, susceptible d'impliquer un traitement relativement superficiel des informations. La condition de dessin par recopie introduit un niveau de difficulté modéré puisque les apprenant·es

reproduisent le modèle fourni. Cette activité peut ainsi renforcer la qualité du dessin sans nécessairement favoriser un encodage profond. Enfin, la condition de dessin réalisé de mémoire représente la forme la plus exigeante sur le plan cognitif. En demandant aux apprenant·es de dessiner sans modèle, elle impose une récupération active et une reconstruction des informations. Ces processus sont susceptibles d'accroitre la charge germane et de favoriser la consolidation des connaissances et la compréhension.

1.2. Objectifs et hypothèses

Tout d'abord, comme dans les études précédentes, il est attendu que les deux conditions impliquant une activité de dessin (recopie et mémoire) devraient conduire à de meilleures performances d'apprentissage globales, incluant les mesures de mémorisation, de compréhension et la précision de l'auto-évaluation, par rapport à la condition contrôle (Hypothèse 1). Sur la base du cadre théorique présenté, plusieurs hypothèses sont formulées. La qualité des dessins réalisés pendant l'apprentissage devrait être plus élevée en condition recopie qu'en condition dessin de mémoire La présence du modèle fourni devrait faciliter la reproduction des structures anatomiques (Hypothèse 2). Concernant le test de connaissances visuospatiales, les apprenant·es de la condition dessin de mémoire devraient obtenir un meilleur rappel que celleux de la condition recopie. La génération à partir de la mémoire devrait solliciter davantage les processus de récupération et de reconstruction spatiale utiles et favoriser l'encodage des informations (Hypothèse 3). Concernant le test de rappel verbal (QCM), il est attendu que le groupe de dessin de mémoire ait un meilleur rappel des informations illustrées que le groupe recopie (Hypothèse 4). Enfin, la compréhension du contenu étudié devrait être plus élevé pour le groupe dessin de mémoire que pour le groupe

recopie. La difficulté supplémentaire introduite par la génération sans modèle constituant une difficulté désirable favorisant des processus cognitifs efficaces et une meilleure intégration des connaissances (Hypothèse 5).

2. Méthode

2.1. Participant·es

Un total de 199 étudiant·es en deuxième année de formation en soins infirmiers ont été recrutés pour participer à l'étude. Celle-ci a été conduite auprès de deux promotions, avec une première session réalisée en 2024 et une seconde en 2025. Ces deux temps de recueil des données avaient pour but de constituer un échantillon de taille suffisante.

En raison de difficultés liées au logiciel rencontrées lors de la première session, seules les données de 148 participant·es sont exploitables pour les analyses. L'âge moyen était de M = 23.4 (ET = 6.84). L'échantillon était composé de 130 femmes et de 18 hommes.

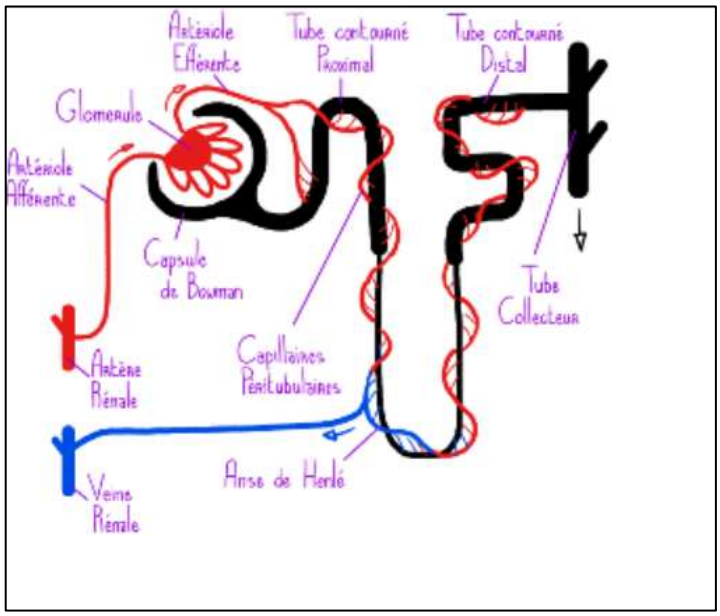
L'expérimentation s'est déroulée en amphithéâtre au sein de l'établissement de formation (IFPS) où les participant·es étaient accueilli·es par groupe de TD et aléatoirement réparti·es dans l'une des trois conditions expérimentales. 57 étudiant·es étaient dans le groupe contrôle (sans activité de dessin), 50 étaient dans le groupe « recopie », et 41 étaient dans le groupe « mémoire ». Chaque participant·e a donné son consentement après avoir été informé des objectifs de l'étude.

2.2. Matériel d'apprentissage

2.2.1. Contenu pédagogique

Le contenu d'apprentissage a été élaboré avec les formateurs de l'IFPS et portait sur le fonctionnement du rein, et plus particulièrement sur le néphron (unité fonctionnelle du rein), ses composantes et leurs fonctions. Ce matériel présente une forte composante fonctionnelle. A la différence des contenus utilisés dans les autres études de la thèse, il ne se limite pas à une description anatomique, mais met l'accent sur le fonctionnement d'un néphron. Ainsi, les informations contenues dans le texte et celles présentes dans l'illustration sont relativement distinctes, notamment en ce qui concerne les aspects fonctionnels. Le contenu était dynamique et les apprenant·es pouvaient suivre la progression du dessin en temps réel et avancer à leur rythme. Le cours comprenait 8 étapes : 1) le rein (44 mots), 2) le glomérule (61 mots), 3) la capsule de Bowman : filtration (56 mots), 4) le tube contourné proximal : réabsorption (82 mots), 5) l'anse de Henlé : réabsorption (18 mots), 6) le tube contourné distal : réabsorption (22 mots), 7) le tube collecteur : réabsorption (49 mots), 8) L'excrétion (65 mots). Le matériel est décrit en Annexe C. Une visualisation du dessin final est présentée ci-dessous, en Figure 27.

Figure 27.
Dessin du cours sur le fonctionnement d'un néphron (rein).

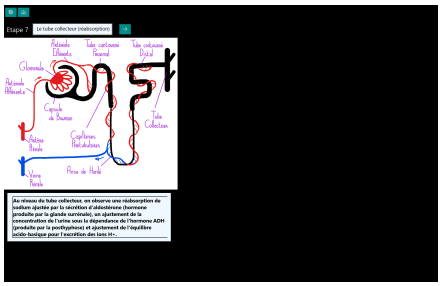
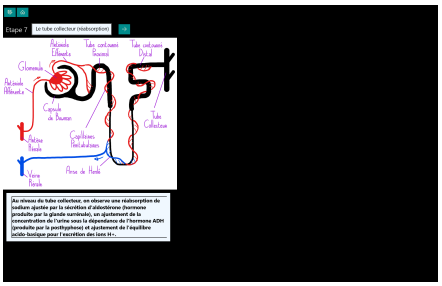
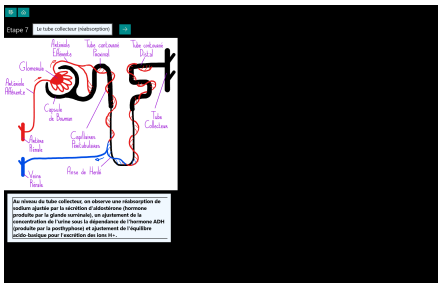
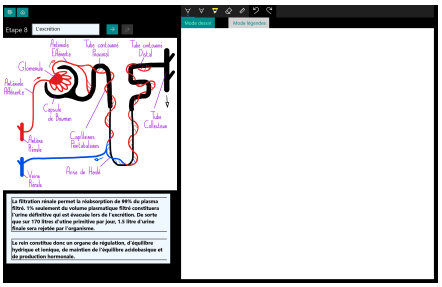
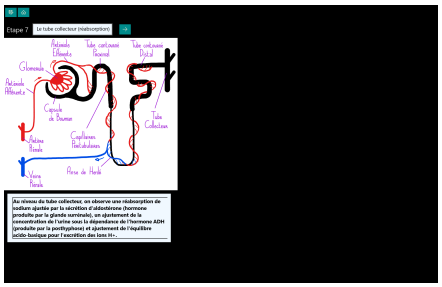
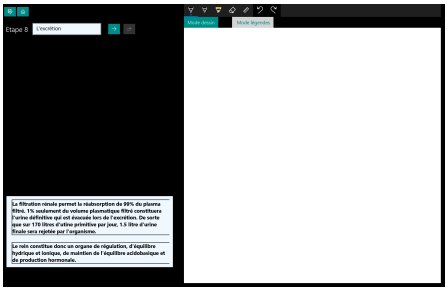


2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH

Chaque participant·e disposait d'une tablette Surface Go 3 (écran de 10.5'') et d'un stylet associé pour réaliser l'étude à l'aide du logiciel IntuiSKETCH. Le paramétrage des différentes conditions expérimentales était directement intégré au logiciel, garantissant que chaque apprenant·e suivait la procédure correspondant à sa condition (voir Figure 28).

Étant donné que l'étude précédente n'avait révélé aucun effet d'ordre, nous avons conservé l'ordre de segmentation des deux phases de consultation puis de génération. Ce choix se justifie d'abord par les spécificités de l'anatomie qui nécessite de disposer d'une première représentation du contenu avant de pouvoir le dessiner. Il permet également d'éviter de renforcer la focalisation sur l'esthétique du dessin. Enfin, cette organisation est plus cohérente avec la condition contrôle, qui commence de toute façon par une consultation du contenu.

Figure 28.
Captures d'écran des interfaces apprenant·es selon les conditions d'apprentissage (étude 4).

Conditions d'apprentissage	Phases d'apprentissage	
	Phase 1	Phase 2
Groupe sans dessin		
Groupe recopie		
Groupe mémorisation		

2.3. Mesures

2.3.1. Mesures des variables contrôles

Lors de la phase de pré-test, des informations relatives aux participant·es ont été recueillies. Elles concernaient à la fois des informations sociodémographiques (âge, genre,

latéralité) et des variables spécifiques à l'étude, telles que l'intérêt et le niveau perçu des étudiant·es pour le dessin et l'anatomie, leurs capacités spatiales, ainsi que leurs connaissances préalables sur le fonctionnement du rein. Ces mesures, identiques à celles utilisées dans l'ensemble des autres études de la thèse, servaient de variables de contrôle afin de vérifier l'équivalence initiale entre le groupe (Annexe H). L'intérêt et le niveau perçu pour l'anatomie et le dessin ont été évalués à l'aide de cinq items. Pour chaque item, les participant·es indiquaient leur degré d'accord sur une échelle de Likert allant de 1 « très faible » à 9 « très élevé ».

Les connaissances préalables ont été évaluées à l'aide de 5 questions ouvertes pour un total de 11 points (Annexe R). Ces questions portaient sur des notions fondamentales du fonctionnement du rein et d'un néphron. Un exemple de question était « *Quelles sont les trois étapes fonctionnelles du rein ?* ». Un point était accordé par réponse correcte et 0 point lorsque la réponse était incorrecte ou absente. **Les capacités spatiales** ont été mesurées à l'aide du Paper Folding Test (Ekstrom & Harman, 1976) comme pour les autres expérimentations (Annexe L). Les résultats au test donnaient un score situé entre -20 et 20.

2.3.2. Qualité des dessins produits

La qualité des dessins produits pendant l'apprentissage par les apprenant·es des conditions avec activité de dessin (« dessin par recopie » et « dessin de mémoire ») a été évaluée afin de comparer les deux modalités. Elle a été évaluée à l'aide de deux types de scores :

- **Score de présence** (maximum 24 points) : correspond au nombre d'éléments attendus effectivement représentés par les apprenant·es dans le dessin.
- **Score de précision** (maximum 24 points) : évalue la qualité des éléments représentés, en prenant en compte leur positionnement et leur forme.

Concrètement, un point de présence était attribué lorsqu'un élément attendu apparaissait dans le dessin, et un point de précision était accordé si cet élément était correctement positionné.

2.3.3. Questionnaire d'apprentissage

Plusieurs tests ont été utilisés pour évaluer les performances d'apprentissage des participant·es :

- **Test de connaissances visuospatiales :** les apprenant·es devaient compléter un exercice de légendage visant à évaluer leurs connaissances visuospatiales (Annexe S). La tâche consistait à identifier correctement différentes structures anatomiques sur un schéma identique à celui présenté dans la phase d'apprentissage, pour un score maximal de 11 points.
- **Test de rappel verbal :** ce test comportait 18 questions à choix multiples (QCM), réparties en deux catégories (Annexe T). Huit questions concernaient uniquement les *informations transmises par les illustrations* (score maximal de 8 points). Par exemple : « *Laquelle (ou lesquelles) de ces structures n'est (ou ne sont) pas en contact direct avec le tube contourné distal ?* ». Chacune des questions comportaient cinq choix de réponse possible dont la réponse « je ne sais pas ». Dix questions portaient exclusivement sur *les informations issues du texte* (score maximal de 10 points). Un

exemple de question était « *Combien de néphrons possèdent un être humain normalement constitué ?* ».

- **Test de compréhension :** afin d'évaluer la capacité de transfert des connaissances, les apprenant·es ont répondu à 5 questions QCM (Annexe T). Chaque question comportait cinq choix de réponse possible dont la réponse « *je ne sais pas* ». Une bonne réponse rapportait 1 point, et chaque mauvaise réponse, 0 point. Le score total de compréhension était donc noté sur 5 points. Un exemple de question était : *« A votre avis que se passe t'il en cas d'insuffisance rénale, une atteinte où les reins sont moins performants et ne filtrent plus correctement le sang dans l'organisme ?* ».

2.3.4. Mesures auro-rapportées (post-test)

L'intérêt situationnel, la charge cognitive perçue, la précision de l'auto-évaluation de la compréhension du cours, ainsi que l'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie ont été évaluées. Il s'agissait de mesures auto-rapportées où les apprenant·es estimaient pour chaque item leur degré d'accord sur des échelles de Likert en 9 points. Les mesures d'auto-évaluation et d'utilité perçue sont identiques aux autres expérimentations de la thèse. Ces mesures sont détaillées dans les précédents chapitres.

L'intérêt situationnel a été mesuré à l'aide d'une échelle adaptée et traduite à partir de travaux antérieurs. Cette mesure est basée sur la définition théorique de l'intérêt situationnel proposée par Hidi et Renniner (2006), qui distingue deux composantes principales : l'intérêt déclenché, défini comme une réaction immédiate des apprenant·es à la manière dont le matériel est présenté, et l'intérêt soutenu, qui reflète une implication plus prolongée. Nous évaluons ici uniquement l'intérêt déclenché, en utilisant trois items de l'échelle développée

par Rotgans et Schmidt (2011), et adaptés au contexte spécifique de notre étude (Annexe J). Cette mesure se compose de trois items, pour lesquels les apprenant·es sont invité·es à exprimer leur degré d'accord sur une échelle de Likert en 9 points, allant de 1 (« pas du tout d'accord ») à 9 (« tout à fait d'accord »).

La mesure de **charge cognitive** correspond à la version française adaptée et validée de l'échelle développée par Klepsch et al. (2017). Cette adaptation provient d'un travail récent mené par Tordet, Cazes, Leconte, Rougeot et Jamet (2025), qui a assuré la traduction et la validation psychométrique du questionnaire. Ce travail a été mené en collaboration et en parallèle de cette thèse. L'échelle permet d'évaluer les trois dimensions de la charge cognitive, chacune jouant un rôle spécifique dans le processus d'apprentissage (voir le chapitre 2). *La charge cognitive intrinsèque* est mesurée à l'aide de deux items. Un exemple d'item est « *pendant ce cours, il fallait traiter beaucoup de choses en même temps dans sa tête* ». *La charge cognitive extrinsèque* est mesurée à l'aide de 3 items. Un exemple d'item est « *la manière dont le contenu de ce cours était présenté n'était pas idéal pour l'apprentissage* ». *Enfin, la charge cognitive germane* est mesurée à l'aide de deux items (par exemple : « *Je me suis appliquée à ne pas uniquement retenir les notions isolées, mais aussi à comprendre le contenu dans sa globalité* »). Le questionnaire est présenté en Annexe K.

2.4. Procédure

Dans un premier temps, les apprenant·es ont complété un pré-questionnaire visant à contrôler les variables individuelles concernant leur intérêt et leur niveau perçu pour l'anatomie et le dessin, leurs capacités spatiales ainsi que leurs connaissances préalables concernant le rein et son fonctionnement. Avant la phase d'apprentissage, une phase de

familiarisation avec le logiciel a été menée afin que les apprenant·es puissent comprendre le fonctionnement du logiciel et le type d'activité attendu. Ce temps de prise en main permettait également de limiter les difficultés techniques susceptibles d'interférer avec la tâche expérimentale. Après avoir vérifié que l'ensemble des apprenant·es aient pris en main le logiciel, la phase d'apprentissage a pu débuter. Lors de cette phase, il était demandé aux apprenant·es d'apprendre un cours concernant le fonctionnement d'un néphron, unité fonctionnelle du rein. Le contenu était présenté étape par étape et la tâche variait selon la condition expérimentale :

- **Condition contrôle :** les apprenant·es consultaient deux fois le contenu du cours, sans réaliser d'activité de dessin.
- **Condition recopie :** les apprenant·es visionnaient d'abord le cours une première fois sans activité de dessin, puis le consultaient une seconde fois, toujours de manière segmentée. A chaque étape, iels devaient reproduire le dessin directement à partir du modèle anatomique fourni, visible à l'écran tout au long de l'activité.
- **Condition dessin de mémoire :** après une première consultation passive du cours, les apprenant·es le revoyaient une seconde fois, étape par étape. Lors de cette phase, iels devaient dessiner de mémoire les illustrations étudiées. Pour ce faire, l'illustration disparaissait automatiquement de l'écran dès qu'iels débutaient leur dessin, les contraignants à mobiliser leur mémoire pour produire leur dessin d'apprentissage.

Pour terminer, les apprenant·es ont complété un questionnaire post-test recueillant leurs mesures auto-rapportés concernant leurs ressentis et perceptions, ainsi que leurs résultats d'apprentissage.

3. Résultats

Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel JAMOVI. Le seuil de signification était fixé à .05. Lorsque les conditions d'homogénéité n'étaient pas remplies, des tests non paramétriques ont été appliquées. Les variables de contrôles ont été analysées à l'aide d'une ANOVA, la condition d'apprentissage étant considérée comme un facteur intergroupe. Des analyses de covariance (ANCOVA) ont été réalisées pour examiner les différences entre les groupes dans les variables dépendantes, en contrôlant l'effet des connaissances préalables et des capacités spatiales. Des analyses de contrastes « différence » ont été effectuées pour répondre aux hypothèses spécifiques établies à priori. Ces dernières permettant de comparer les deux conditions de dessin (recopie et mémoire) à la condition contrôle, ainsi que de comparer directement les deux conditions de dessin entre elles.

3.1. Variables contrôles

Avant d'examiner les hypothèses, nous avons vérifié l'homogénéité des groupes, en nous assurant qu'aucune différence significative n'apparaissait entre eux concernant le genre, l'âge, l'intérêt et le niveau perçu pour le dessin et l'anatomie, les capacités spatiales ainsi que les connaissances préalables (voir Tableau 7).

Une différence significative a été observée entre les groupes concernant le niveau perçu de leurs connaissances sur le rein. Toutefois, les résultats obtenus au test de connaissances préalables ont confirmé que l'ensemble des participant·es n'étaient pas expert·es et qu'aucune différence significative n'existait entre les groupes.

Tableau 7.
Statistiques descriptives et résultats d'analyses pour les variables contrôlées en pré-test.

	Groupe contrôle	Groupe recopie	Groupe mémoire	Valeur statistique	ddl	*p*
Variables contrôles	***M (ET)***	***M (ET)***	***M (ET)***			
Genre	-	-	-	χ^2 = .406	2	.816
Age	23.4 (6.62)	23.2 (6.92)	23.9 (7.17)	*F* = .129	2	.879
Intérêt pour l'anatomie (1 – 9)	7.42 (1.22)	7.82 (.896)	7.66 (.990)	X^2 = 2.80	2	.247
Intérêt pour le dessin (1 – 9)	4.79 (1.84)	3.90 (2.45)	4.76 (2.11)	X^2 = 5.39	2	.068
Niveau perçu en l'anatomie (1 – 9)	5.82 (1.10)	6.34 (.982)	6 (1.26)	*F* = 3.336	2	.040
Niveau perçu concernant le rein (1 – 9)	5.11 (1.33)	5.70 (1.22)	5.56 (1.32)	*F* = 3.087	2	.050
Niveau perçu en dessin (1 – 9)	3.37 (1.64)	3.12 (2.10)	3.71 (2.23)	X^2 = 2.08	2	.354
Capacités spatiales (-20 – 20)	8.65 (5.73)	6.26 (6.07)	7.17 (6.26)	*F* = 2.228	2	.114
Connaissances préalables (/11)	2.58 (1.70)	2.40 (1.87)	2.54 (1.69)	*F* = .137	2	.872

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type. **p* < .05 ; ***p* < .01 ; ****p* < .001

3.2. Qualité des dessins produits pendant l'apprentissage

L'analyse ne montre pas de différence significative entre les groupes « recopie » et « mémoire » concernant le nombre d'éléments correctement dessinés pendant l'apprentissage, $F(1, 87) = 2.616$, $p = .109$, $\eta^2p = .029$. En revanche, concernant la précision des éléments présents dans les dessins, une différence significative est observée entre les deux groupes : les apprenant·es de la condition « recopie » obtiennent des scores de précision plus élevés que celleux de la condition « mémoire », $F(1, 87) = 6.368$, $p = .013$, $\eta^2p = .068$. Ainsi, l'hypothèse 2 est partiellement validée. Les résultats indiquent que les dessins produits

pendant l'apprentissage sont de meilleure qualité en condition « recopie » qu'en condition « mémorisation ». Toutefois, ce résultat doit être interprété avec prudence, car un effet plafond est observé sur l'ensemble des scores de cette mesure.

3.3. Performances d'apprentissage

Concernant le **test de connaissances visuospatiales**, l'analyse a révélé une différence significative entre les conditions d'apprentissage, $F(2, 143) = 4.836$, $p = .009$, $\eta^2p = .063$. Les analyses de contrastes ont révélé un effet de la génération de dessin comparativement à la condition contrôle, $t(143) = -2.89$, $p = .004$. Les apprenant·es des conditions avec génération de dessin obtiennent des scores plus élevés à ce test que les apprenant·es du groupe contrôle. En revanche, aucune différence significative est observée entre les groupes « recopie » et « mémoire », $t(143) = -1.28$, $p = .202$.

Concernant le **rappel des informations illustrées**, contrairement à l'hypothèse 3, l'analyse n'a pas révélé d'effet de la condition d'apprentissage, $F(2, 143) = .497$, $p = .610$, $\eta^2p = .007$.

Concernant *le* **rappel des informations textuelles** (voir Tableau 8), l'analyse a révélé un effet de la condition d'apprentissage, $F(2, 143) = 8.132$, $p < .001$, $\eta^2p = .102$. Les analyses de contrastes ont montré une différence significative entre les deux conditions de dessin et la condition contrôle, $t(143) = 3.58$, $p < .001$. Les apprenant·es placé·es en condition contrôle rappellent plus d'éléments non illustrés que les apprenant·es des deux conditions avec génération de dessin. Les analyses de contrastes ont également indiqué une différence significative entre la condition « recopie » et la condition « mémoire », $t(143) = 2.04$, $p = .043$,

l'effet délétère du dessin sur le rappel de ces informations étant plus important dans la condition mémoire.

Pour l'évaluation de *la compréhension*, l'analyse a révélé un effet de la condition d'apprentissage, $F(2, 143) = 3.411$, $p = .071$, $\eta^2p = .036$. Les analyses de contrastes ont montré un effet de la génération de dessin sur cette mesure, $t(143) = 2.292$, $p = .023$, les apprenant·es qui n'ont pas dessiné pendant l'apprentissage obtenant de meilleurs scores de compréhension comparativement à celleux qui ont dessiné. En revanche, aucune différence significative n'a été révélé entre les deux groupes avec activité de dessin, $t(143) = .463$, $p = .644$.

Tableau 8.
Moyennes et écart-types obtenus aux performances d'apprentissage.

		Groupe contrôle	**Groupe recopie**	**Groupe mémoire**
		M (ET)	***M (ET)***	***M (ET)***
Qualité des dessins	Score de présence (/24)	/	23.4 (1.03)	23.1 (1.36)
	Score de précision (/24)	/	22.9 (2.27)	22.1 (2.83)
Performances d'apprentissage				
Test de rappel verbal	Informations textuelles (/10)	4.30 (1.65)	3.66 (1.48)	3.02 (1.33)
	Informations illustrées (/8)	4.33 (1.94)	4.38 (1.95)	4.37 (1.92)
Test de connaissances visuospatiales (/11)		7.18 (2.85)	7.94 (2.72)	8.73 (2.71)
Compréhension (/5)		1.35 (.876)	.980 (.845)	.927 (.877)

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

3.4. Mesures auto-rapportées

Les mesures auto-rapportées ont été analysées à l'aide d'une ANOVA et des analyses de contrastes. Les statistiques descriptives des scores obtenus à ces mesures sont présentées en Tableau 9. Les résultats obtenus aux analyses sont décrits dans les parties suivantes.

Tableau 9.
Moyennes et écart-types obtenus aux mesures auto-rapportées en fonction de chaque condition expérimentale.

	Groupe contrôle	**Groupe recopie**	**Groupe mémoire**
Mesures auto-rapportées	***M (ET)***	***M (ET)***	***M (ET)***
Précision de l'auto-évaluation	-21 (14.8)	-25.6 (14.6)	-21 (20.6)
Intérêt situationnel	6.81 (1.41)	7.44 (1.11)	6.58 (2.02)
Charge cognitive intrinsèque	3.93 (1.83)	3.62 (2.03)	4.32 (1.40)
Charge cognitive extrinsèque	3.22 (1.69)	2.57 (1.34)	3.21 (1.76)
Charge cognitive germane	6.11 (1.73)	6.49 (1.82)	6.38 (1.72)

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

3.4.1. Intérêt situationnel et charge cognitive

Concernant **l'intérêt situationnel déclenché**, l'analyse n'a pas révélé de différence significative entre les conditions d'apprentissage, X^2 (2) = 5.55, *p* = .062.

Concernant *la charge cognitive intrinsèque*, l'analyse n'a pas révélé d'effet de la condition d'apprentissage, *F*(2, 143) = 1.955, *p* = .145, η^2p = .027, ainsi qu'aucun effet sur *la charge cognitive extrinsèque*, *F*(2, 143) = 2.30, *p* = .104, η^2p = .031. Enfin, contrairement à notre hypothèse, l'analyse n'a pas montré d'effet de la condition expérimentale sur *la charge cognitive germane, F*(2, 143) = .593, *p* = .554, η^2p = .008.

3.4.2. Précision de l'auto-évaluation

Contrairement à l'Hypothèse 5, l'analyse n'a pas révélé d'effet de la condition d'apprentissage sur *la précision de l'auto-évaluation*, $F(2, 142) = .957$, $p = .387$, $\eta^2p = .013$. Toutefois, il est important de noter que les statistiques descriptives montrent que l'ensemble des apprenant·es ont tendance à sous-estimer leur compréhension du contenu étudié, quelle que soit la condition dans laquelle iels ont réalisé l'activité.

3.4.3. Utilité perçue du dessin

Une analyse de covariance à mesures répétées (ANCOVA) a été réalisée pour étudier l'effet de la condition d'apprentissage sur *l'utilité perçue de la stratégie de dessin par les apprenant·es.* Les résultats ont montré un effet du moment de la mesure, $F(1, 143) = 7.080$, $p = .009$, $\eta^2p = .047$. En revanche, les résultats n'ont pas montré d'effet principal de la condition, $F(2, 143) = .046$, $p = .955$, $\eta^2p = .001$, ni d'effet d'interaction entre la condition d'apprentissage et le moment n'était pas significative, $F(2, 143) = 2.186$, $p = .116$, $\eta^2p = .030$.

4. Discussion

4.1. Interprétation des résultats

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet du type d'activité de dessin (recopie ou dessin de mémoire) ainsi que l'effet de la génération de dessin sur l'apprentissage de l'anatomie. Les hypothèses formulées initialement sont partiellement validées.

L'une des premières hypothèses de l'étude était d'examiner si la présence du modèle pendant l'élaboration du dessin d'apprentissage (condition recopie) ou, au contraire, son retrait au moment du dessin (condition mémoire) modifiait la qualité des dessins réalisés. Comme attendu en hypothèse 2, les résultats montrent que les apprenant·es en condition recopie produisent des dessins plus précis que celleux de la condition mémoire. Le modèle visuel fournit une référence explicite, ce qui soutient l'interprétation de l'illustration et permet une reproduction plus fidèle des structures anatomiques. Toutefois, ce bénéfice observé sur la qualité des dessins ne se traduit pas par de meilleures performances d'apprentissage.

Concernant le test de connaissances visuospatiales, les apprenant·es ayant dessiné obtiennent de meilleurs scores comparativement aux apprenant·es du groupe contrôle. Ce résultat valide la partie de l'hypothèse 1 portant sur l'effet positif de la génération de dessin et suggère que l'activité de dessin soutient l'organisation spatiale des connaissances en mobilisant des processus cognitifs efficaces. En revanche, aucune différence n'est observée entre les deux types d'activités de dessin. L'hypothèse selon laquelle la difficulté supplémentaire du dessin de mémoire pourrait produit un effet de « difficulté désirable » n'est donc pas confirmée pour cette mesure. Cela peut s'expliquer par la nature même du test, qui repose sur une tâche de légendage relativement simple et probablement insuffisamment discriminante pour révéler des différences.

Concernant le rappel des informations illustrées, mesuré à l'aide d'un test verbal (QCM), le bénéfice de la génération de dessin n'est pas observé. Aucune différence n'a été retrouvée entre les conditions, contrairement à notre hypothèse 3. De plus, aucune différence n'est observée entre les deux conditions de dessin.

En revanche, bien qu'aucun effet n'était attendu sur le rappel des informations textuelles mesuré par QCM, les résultats ont révélé un effet négatif du dessin. Les apprenant·es du groupe contrôle rappellent significativement plus d'éléments présents dans le texte que celleux des conditions avec activité de dessin. De plus, l'effet délétère du dessin est plus important en condition mémoire qu'en condition recopie. Ce résultat peut s'expliquer par la nature du matériel d'apprentissage. Le texte n'était pas redondant avec les illustrations, à la différence des autres études menées dans cette thèse. Dans ces conditions, les apprenant·es ne pouvaient peut-être pas compenser une lecture insuffisante du contenu par un traitement visuel. Cet effet négatif peut également être interprété par l'effet de traitement focalisé (Jamet & Michinov, 2022). Ce phénomène, comme expliqué dans les précédents chapitres, décrit la tendance des apprenant·es à concentrer leurs ressources attentionnelles sur les éléments qu'iels doivent représenter dans leur dessin, au détriment des informations qui ne sont pas directement mobilisés dans l'activité de dessin. Autrement dit, le dessin oriente l'attention vers les éléments visuels à reproduire et ayant une importance spatiale, ce qui limite la profondeur de traitement accordé aux informations textuelles, qui ne sont pas directement utiles à la construction visuelle du dessin. Dans cette étude, le biais attentionnel est particulièrement accentué par la structure du matériel. Étant donné la composante fonctionnelle du contenu d'apprentissage, le texte et l'illustration transmettent des informations distinctes, et donc l'attention focalisée sur les éléments visuels n'est jamais réinvestie dans la lecture du texte. L'intégration du contenu textuel ne se fait quasiment pas. Cela est renforcée dans la condition mémoire. L'effort de récupération nécessaire pour dessiner sans modèle semble augmenter la charge liée au dessin, ce qui réduit les ressources disponibles pour le traitement du texte. L'effet de traitement focalisé est donc plus marqué dans cette condition.

Dans le prolongement de cette observation, la compréhension du contenu est également plus faible dans les conditions de dessin que dans la condition contrôle, bien que cet effet doive être interprété avec prudence en raison d'un effet plancher. Si les apprenant·es encodent en priorité les éléments visuels au détriment des éléments verbaux, l'intégration des informations est difficile. Ainsi, dans un matériel où texte et illustration ne se recoupent pas, le dessin tend à renforcer le traitement spatial, mais à affaiblir la construction du modèle cohérent et donc la compréhension.

Les mesures auto-rapportées apportent un éclairage complémentaire sur la perception qu'ont les apprenant·es de leur apprentissage. Aucune différence significative n'est observée entre les conditions sur l'intérêt situationnel, les trois dimensions de la charge cognitive, ni sur la précision de l'auto-évaluation. Ainsi, bien que des différences soient observées sur les performances d'apprentissage, notamment sur le rappel des informations textuelles et la compréhension, les apprenant·es ne rapportent pas de variations subjectives dans le niveau de difficulté de la tâche, ou l'engagement ressentie. Ces résultats suggèrent un décalage entre l'expérience subjective de la tâche, perçue comme relativement peu coûteuse et ses effets objectifs sur l'apprentissage, qui sont plus contrastés. Ce décalage témoigne du fait que les apprenant·es ne sont pas nécessairement conscients des coûts associés à la génération de dessin. De plus, l'intérêt élevé des apprenant·es pour l'activité de dessin dans un contexte d'apprentissage a peut-être biaisé leur perception. En effet, étant donné que l'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage est déjà élevée avant la mise en situation, le fait de percevoir le dessin comme pertinent pour l'anatomie peut avoir orienté leur estimation et les avoir amenés à sous-estimer la charge qu'implique le dessin. Par ailleurs, le fait que l'environnement d'apprentissage soit sur tablette peut jouer un rôle. La tablette peut susciter un biais de

perception positive liée à la nouveauté. Cependant, cette impression peut masquer des difficultés liées à la prise en main de l'outil et aux problèmes de logiciel qui ont pu être rencontrés par les étudiant·es et avoir eu un effet négatif sur l'apprentissage.

4.2. Limites et perspectives

Plusieurs limites méthodologiques doivent être prises en compte pour interpréter les résultats de manière nuancée. Tout d'abord, les scores de compréhension présentent un effet plancher. Les performances globalement faibles observées sur cette mesure réduisent la sensibilité statistique et limitent les conclusions. Ensuite, la complexité du contenu d'apprentissage constitue une autre limite importante. Le matériel utilisé portait sur le fonctionnement du néphron (rein), c'est-à-dire un contenu plutôt physiologique qu'anatomique. Contrairement aux cours centrés sur la description spatiale de structures anatomiques, comme celles portant sur le rachis et l'œil dans les autres études par exemple, le cours du rein reposait essentiellement sur la compréhension de processus dynamiques et textuels. Dans ce contexte, la part visuelle du contenu était probablement moins déterminante pour la mémorisation et la compréhension, ce qui pourrait expliquer l'absence d'effet positif du dessin sur certaines mesures d'apprentissage. Il est possible que la stratégie de dessin soit plus adaptée à des contenus visuels et descriptifs qu'à des contenus nécessitant une forte composante verbale et explicative d'un fonctionnement.

Enfin, les mesures auto-rapportées (charge cognitive, intérêt, utilité perçue) reposent sur des évaluations subjectives. Bien que ces indicateurs offrent une estimation du ressenti des apprenant·es, ils restent sensibles à des biais de perception et ne reflètent pas nécessairement la charge cognitive ou la motivation réelles pendant la tâche. De futures recherches pourraient

compléter ces mesures subjectives par des indicateurs comportementaux (temps consacré au dessin, nombres de tracés ou d'annotations) ou physiologiques (méthodes d'eye-tracking). L'intégration de ces données offrirait une évaluation plus fine et plus objective des processus cognitifs et affectifs mobilisés au cours de l'apprentissage.

Par ailleurs, il convient de souligner que les mesures de performances ont été recueillies immédiatement après la phase d'apprentissage. Or, la littérature montre que les bénéfices liés aux difficultés désirables émergent souvent à long terme, après un certain délai de consolidation en mémoire (Roediger & Karpicke, 2006; Soderstrom & Bjork, 2015). L'absence de mesure différée dans notre protocole ne permet donc pas d'évaluer l'effet durable de la récupération active.

5. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que des effets limités du dessin sur l'apprentissage même lorsqu'il s'agit des informations visuospatiales, pour lesquelles un bénéfice était attendu. Plus globalement, l'activité de dessin semble parfois produire des effets négatifs sur le rappel des informations textuelles, suggérant que la difficulté désirable associée à la génération de mémoire n'a pas fonctionné tel qu'il avait été anticipé. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats. Un contenu fortement physiologique et fonctionnel, dans lequel le texte et l'illustration apportent des informations complémentaires mais peu redondantes, a pu rendre la construction d'un modèle intégré plus difficile pour les apprenant·es. Par ailleurs, aucune différence n'a été observé entre les groupes concernant la charge cognitive perçue, l'intérêt situationnel, la précision de l'auto-évaluation ou l'utilité

perçue du dessin. Ces résultats nous amènent à poser la question de l'influence de facteurs individuels qui pourraient jouer un rôle dans l'efficacité de la stratégie de dessin. Dans cette perspective, la prochaine étude réexaminera plus finement les deux modes de génération (recopie et dessin de mémoire), en s'appuyant sur un matériel pédagogique d'anatomie descriptive qui présente une démarche de construction de dessin anatomique. L'objectif sera d'évaluer plus précisément comment ces modalités soutiennent l'apprentissage des structures anatomiques et leurs relations, tout en examinant le rôle spécifique des capacités spatiales des apprenant·es dans l'efficacité de la stratégie de dessin.

Synthèse du chapitre 6

Objectifs : Étudier l'effet de la génération ainsi que l'effet d'une difficulté désirable.

Méthode : Contrôle, Recopie, Mémorisation

Hypothèse : un effet de la génération de dessin était attendu sur les performances d'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation ; ainsi qu'un effet de difficulté désirable introduit dans la condition mémorisation.

Interprétation des résultats :

- Effets du dessin globalement limités, y compris pour les informations visuospatiales.
- Effet négatif du dessin sur le rappel des informations textuelles
- Utilité perçue du dessin élevée chez tous·tes les apprenant·es.
- Aucune différence entre les groupes sur les mesures de charge cognitive, d'intérêt situationnel et de précision de l'auto-évaluation.

Limites et perspectives :

- Nature du contenu pédagogique à composantes fonctionnelles fortes (différent des autres études).
- Résultats qui suggèrent un rôle de facteurs individuels dans l'efficacité de la stratégie de dessin.

Chapitre 7 : Effets du type d'activité et des capacités spatiales sur l'apprentissage et les perceptions d'étudiant·es en kinésithérapie[5]

1. Introduction

1.1. Contexte théorique

La dernière étude de cette thèse continue d'examiner l'effet du type d'activité de dessin sur les performances d'apprentissage et les mesures auto-rapportées. Elle poursuit cet objectif en explorant plus spécifiquement le rôle des capacités spatiales dans la mise en œuvre de la stratégie de dessin. L'enjeu est de mieux comprendre dans quelle mesure les différences individuelles influencent l'efficacité du dessin. Comme il a été indiqué à plusieurs reprises, les capacités spatiales jouent un rôle clé dans l'apprentissage de l'anatomie. Des travaux ont montré qu'elles sont prédictives de l'acquisition des connaissances anatomiques. Une revue systématique a mis en évidence une relation significative entre les aptitudes spatiales et l'acquisition des connaissances en anatomie (Langlois et al., 2017). Une méta-analyse plus récente a également révélé une corrélation positive entre ces deux mesures (Roach et al., 2021). Ces travaux montrent que les corrélations les plus fortes apparaissent lorsque les performances au test d'anatomie sont mesurées à l'aide de tests ayant une composante

[5] L'étude présentée dans ce chapitre a fait l'objet d'un article long accepté et présenté lors de la conférence Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) de Lille en juin 2025. Il fera également l'objet d'une publication dans un numéro spécial de la revue STICEF, associée à cette conférence. Leconte, L., & Jamet, E. Apprendre l'anatomie en dessinant sur tablette : effets du type d'activité et des capacités visuospatiales sur l'apprentissage et les perceptions d'étudiant· es en kinésithérapie.

visuelle forte, comme la complétion de schémas par exemple. Les capacités spatiales pourraient donc avoir une influence sur l'efficacité de la stratégie de dessin. Or, dans les travaux qui concernent cette stratégie, les capacités spatiales sont généralement contrôlées mais leur effet n'est que très peu examiné et semble varier selon le contenu d'apprentissage et le contexte. Bobek et Tversky (2016) ont montré que le dessin pouvait atténuer les différences liées aux capacités spatiales. Iels ont observé que les apprenant·es ayant de faibles capacités spatiales obtenaient des performances d'apprentissage comparables à celles des apprenant·es ayant de fortes capacités spatiales lorsqu'iels produisent un dessin. Alors que ce résultat n'apparait pas chez les apprenant·es ayant généré des explications verbales. Dans une autre étude, Zhang et Fiorella (2019) ont comparé deux conditions d'apprentissage : une condition où les apprenant·es devaient produire un dessin pendant l'apprentissage et une condition où iels étudiaient une illustration fournie (sans activité de dessin). Ils ont montré que les capacités spatiales prédisaient significativement les scores de compréhension, mais pas le rappel, et cet effet n'apparaissait que dans la condition avec activité de dessin. Ainsi, le dessin semble mobiliser plus fortement les capacités spatiales comparativement à l'observation d'une illustration fournie, et permettrait aux apprenant·es ayant de hautes capacités spatiales de mieux comprendre le contenu. En revanche, Cheng et Beal (2020) ont montré que le dessin était particulièrement bénéfique chez les apprenant·es disposant de fortes capacités spatiales, tandis qu'il pouvait au contraire, induire une surcharge cognitive chez les apprenant·es ayant de faibles capacités spatiales. Enfin, Ritchie et al. (2023), ont mené une étude visant à évaluer si un tutoriel de dessin guidé pouvait soutenir l'apprentissage de l'anatomie et si cet effet dépendait des capacités spatiales des apprenant·es. Les participant·es ont réalisé un dessin d'apprentissage, passé un test de rotation mentale, ainsi que des évaluations d'apprentissage en pré et post test. Les résultats obtenus ont montré que les capacités spatiales n'influencent

pas systématiquement les performances d'apprentissage, et que leur effet dépend du type d'évaluation des connaissances utilisé. Ces résultats rejoignent les travaux de Langlois et al. (2017) et Roach et al. (2021), indiquant que le lien entre capacités spatiales et acquisition des connaissances en anatomie apparait principalement dans les tests à forte composante visuelle et spatiale, mais pas dans les épreuves plus verbales.

Ainsi, les apports de la littérature amènent à considérer les capacités spatiales non seulement comme un facteur prédictif des performances en anatomie mais également comme une variable susceptible de moduler l'efficacité de la stratégie de dessin. Leur influence semble dépendre à la fois des capacités de l'apprenant·e, de la nature de la tâche et du type de test utilisé, ce qui justifie l'attention portée de leur rôle dans la présente étude. Deux modalités de dessin sont comparées : le dessin réalisé par recopie et le dessin réalisé de mémoire. Les effets de ces modalités de dessin, ainsi que le rôle des capacités spatiales sur ces stratégies sont examinés à travers de tests verbaux et visuels variés.

1.2. Objectifs et hypothèses

L'objectif de cette étude est d'examiner l'effet du type d'activité de dessin (recopie ou mémoire) sur les performances d'apprentissage, tout en analysant dans quelle mesure les capacités spatiales des apprenant·es influencent la mise en œuvre et l'efficacité de ces stratégies de dessin. Nous nous attendons à ce que les apprenant·es de la condition « recopie » produisent des dessins de meilleure qualité que celleux de la condition « mémorisation » (Hypothèse 1). En revanche, nous faisons l'hypothèse que les apprenant·es de la condition « mémorisation » obtiendront des scores plus élevés en mémorisation et en compréhension

des concepts anatomiques, grâce à l'effort de récupération associée à la stratégie « de mémoire » (Hypothèse 2).

Concernant l'effet modérateur des capacités spatiales sur l'apprentissage par le dessin, nous postulons que les capacités spatiales influencent l'efficacité de la stratégie de dessin. Plus précisément, nous suggérons que les apprenant·es ayant des capacités spatiales élevées produiront des dessins de meilleure qualité que celleux ayant de faibles capacités spatiales (Hypothèse 3). De plus, ces apprenant·es obtiendront des performances supérieures en rappel et en compréhension des connaissances anatomiques apprises (Hypothèse 4).

2. Méthode

2.1. Participant·es

L'étude a été menée auprès de 84 étudiant·es en deuxième année de kinésithérapie. L'âge moyen était de 22 ans (*ET* = 3.45). L'échantillon était composé de 49 femmes et 35 hommes. Les étudiant·es ont été réparti·es en deux groupes : 41 étaient dans le groupe « recopie » et 43 dans le groupe « mémorisation ». Un consentement éclairé a été signé par l'ensemble des participant·es à l'étude. Les données ont été anonymisées.

2.2. Matériel d'apprentissage

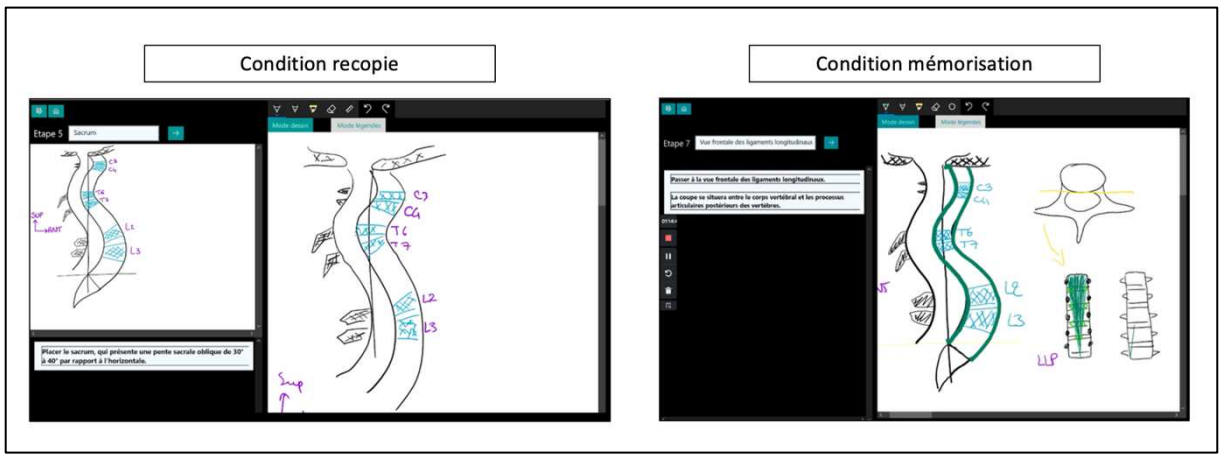
2.2.1. Contenu pédagogique

Le matériel expérimental correspond au même contenu que celui décrit dans le Chapitre 1 et l'étude 1, consacré aux ligaments longitudinaux du rachis (Annexe A). Le cours proposait une démarche de construction du croquis anatomique, à la fois progressive et structurée, permettant d'accompagner pas à pas l'apprenant·e dans la réalisation du dessin. Cette approche associait la représentation du rachis ainsi que l'explications des structures anatomiques et de leurs relations spatiales. Le cours comprenait neuf étapes présentant le foramen magnum, les courbures rachidiennes, le positionnement des vertèbres et des processus épineux, la représentation du sacrum, puis les vues détaillées des ligaments longitudinaux postérieurs et antérieurs.

2.2.2. Logiciel IntuiSKETCH

L'interface du logiciel IntuiSKETCH affichait le cours d'anatomie sur tablette Surface Go 3 (écran de 10.5'') avec stylet associé. Le contenu du cours apparaissait à gauche de l'écran, et zone active de dessin était à droite. Le cours, structuré en étapes successives, guidait l'apprenant·e dans une progression segmentée du contenu. En condition « recopie », le modèle de l'enseignante restait affiché pendant l'activité de dessin, tandis qu'en condition « mémorisation », le modèle disparaissait et l'activité de dessin était guidé par un étayage verbal uniquement (voir Figure 29).

Figure 29.
Captures d'écran des interfaces apprenant·es en fonction des conditions d'apprentissage (étude 5).



2.3. Mesures

2.3.1. Mesure de variables contrôles

En préquestionnaire, les informations sur les participant·es, leur intérêt pour le dessin et l'anatomie ont été recueilli de façon similaire aux autres études. Le **test de connaissances préalables** comportait 6 questions à choix unique (Annexe M). Chaque question était notée sur 1 point pour un total de 6 points. Les **capacités spatiales** (Annexe L) ont été mesurées à l'aide du Paper Folding Test (Ekstrom & Harman, 1976) de manière identique aux précédentes études.

2.3.2. Questionnaire d'apprentissage

Les performances d'apprentissage ont été évaluées à l'aide d'un test de rappel visuel, un test de mémorisation et d'un test de compréhension. Le **test de connaissances**

visuospatiales était une tâche de complétion de croquis (Annexe N). Le croquis du rachis était présenté aux étudiant·es avec des éléments manquants et il leur était demandé de compléter celui-ci. Ce test était évalué avec un score de présence (sur 9 points) et un score de précision (sur 9 points). Le *score de présence* mesure le nombre d'éléments dessiné par les étudiant·es (1 point est accordé par élément). Le *score de précision* correspond au nombre d'éléments correctement dessinés, avec 1 point attribué pour chaque élément réalisé avec précision. **Le test de mémorisation,** composé de 6 items, était identique au test de connaissances préalables administré en pré-test. **Le test de compréhension,** composé de 5 questions à choix unique, évalue la capacité des étudiant·es à appliquer les connaissances acquises dans des situations concrètes, vérifiant ainsi leur compréhension fonctionnelle nécessaire pour la pratique de kinésithérapie. Ce test était évalué sur 5 points.

2.3.3. Mesure de l'utilité perçue du dessin

L'utilité perçue de la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie a été évaluée à l'aide des quatre items similaires aux précédentes études (Annexe I). Elle a également été mesurée en prétest et en post-test, permettant d'évaluer l'évolution des perceptions avant et après la mise en situation d'apprentissage.

2.4. Procédure

Au début de l'expérimentation, l'ensemble des participant·es a reçu une présentation du contexte et des objectifs de l'étude, puis a signé un formulaire de consentement éclairé. L'expérimentation s'est déroulée dans un amphithéâtre d'un institut de formation en

kinésithérapie. Les apprenant·es ont été réparti·es par groupe selon la condition expérimentale à laquelle iels étaient assigné·es. Chacun·e avait à disposition une tablette avec un stylet. Avant le début de la phase d'apprentissage, les apprenant·es ont complété un questionnaire pré-test visant à évaluer leur intérêt pour l'anatomie et le dessin, leurs compétences spatiales perçues ainsi que leurs connaissances préalables sur les ligaments longitudinaux du rachis. Une courte phase de familiarisation avec le logiciel leur a ensuite permis de se repérer dans l'interface et de manipuler les principales fonctionnalités de l'outil avant de commencer l'apprentissage. Durant la phase d'apprentissage, tous·tes les apprenant·es ont étudié le cours d'anatomie de manière progressive et segmentée, en suivant les étapes de présentation du contenu. Les apprenant·es du groupe recopie réalisaient leur dessin d'apprentissage à partir d'un modèle visuel fourni, tandis que celleux du groupe mémorisation devaient reconstituer le dessin de mémoire à partir d'une aide textuelle décrivant les structures anatomiques. Tous·tes les apprenant·es étaient informé·es qu'un test de connaissances suivrait immédiatement l'activité d'apprentissage. A l'issue de cette phase, un questionnaire post-test a été administré afin d'évaluer leurs performances d'apprentissage ainsi que leurs perceptions vis-à-vis de la tâche.

3. Résultats

Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel Jamovi. Le seuil de significativité a été fixé à .05.

3.1. Variables contrôles

Avant de tester nos hypothèses, nous avons examiné si les groupes expérimentaux différaient en termes d'âge, de genre, de latéralité, ainsi que d'intérêt et de niveaux perçus en dessin et en anatomie. Les analyses de Khi carré n'ont pas révélé de différence significative entre les conditions en termes de genre χ^2 (1, 84) = .720, p = .396, et de latéralité, χ^2 (1, 84) = 2.01, p = .157. Les résultats concernant les variables contrôlées d'intérêt et de niveaux perçus sont indiqués dans le Tableau 10.

Tableau 10.
Statistiques descriptives des variables contrôlées d'intérêt et niveaux perçus.

Mesures	Conditions	*M*	*ET*	*t*	ddl	*p*
Intérêt pour l'anatomie	**Recopie**	7.63	1.04	-.518	82	.606
	Mémorisation	7.74	.902			
Intérêt pour le dessin	**Recopie**	4.49	2.10	-1.265	82	.209
	Mémorisation	5.09	2.28			
Niveau perçu en anatomie	**Recopie**	6.66	.728	.421	82	.675
	Mémorisation	6.58	.932			
Niveau perçu sur l'œil	**Recopie**	5.90	.944	-.114	82	.910
	Mémorisation	5.93	1.26			
Niveau perçu en dessin	**Recopie**	3.80	1.69	-1.200	82	.233
	Mémorisation	4.30	2.08			

Note. *M* = moyenne ; *ET* = écart-type. *p < .05 ; **p < .01 ; ***p < .001

Concernant les **capacités spatiales**, l'analyse du t de Welch ne révèle pas de différence significative entre la condition « recopie » (*M* = 7.66, *ET* = 7.67) et la condition « mémorisation » (*M* = 10.2, *ET* = 5.07), *t*(68.9) = -1.81, *p* = .075.

Concernant les **connaissances préalables**, le *t*-test de Student ne révèle pas de différence significative entre la condition « recopie » (*M* = 2.12, *ET* = 1.10) et la condition « mémorisation » (*M* = 2.19, *ET* = 1.10), *t*(82) = -.267, *p* = .790. Par ailleurs, nous nous sommes

assurés que tous·tes les étudiant·es aient peu de connaissances préalables sur le rachis. Deux participant·es ayant eu des scores trop élevés au test de connaissances préalables (> 5 points) ont été considérés comme expert·es et retiré·es des analyses.

Les analyses montrent donc que les groupes sont homogènes pour l'ensemble des mesures contrôles de cette étude. Les distributions sont normales et le jeu de données ne présente pas de valeurs extrêmes.

3.2. Qualité des dessins produits pendant l'apprentissage

Des analyses de régressions linéaires ont été réalisées pour analyser l'effet de la condition d'apprentissage et des capacités spatiales sur la qualité des dessins réalisés pendant l'apprentissage. Concernant le score de présence, le modèle était significatif, $F(3, 80) = 6.16$, $p < .001$, avec un coefficient de détermination $R^2 = .188$. Les résultats ne montrent pas d'effet de la condition sur cette mesure ($\beta = -.130$, $t = -.189$, $p = .850$). L'Hypothèse 1 n'est donc pas validée. En revanche, l'analyse révèle un effet des capacités spatiales, ($\beta = .076$, $t = 2.184$, $p = .032$). Les étudiant·es ayant de hautes capacités spatiales ($M = 31.7$, $ET = .265$) dessinent plus d'éléments que les étudiant·es ayant de faibles capacités spatiales ($M = 31.6$, $ET = .285$). Ce résultat est toutefois à nuancer, du fait d'un effet plafond sur les données. L'analyse révèle un effet d'interaction, $\beta = .132$, $t = .062$, $p = .035$. L'effet des capacités spatiales semble dépendre de la condition d'apprentissage. Les apprenant·es à hautes capacités spatiales tireraient davantage profit du fait de dessiner de mémoire, tandis que les apprenant·es à faibles capacités spatiales semblent être moins désavantagé en condition recopie.

Concernant le score de précision, le modèle était significatif, $F(3, 80) = 15$, $p < .001$, avec un coefficient de détermination $R^2 = .361$. Les analyses montrent un effet de la condition sur le score de précision, ($\beta = -7.063$, $t = -3.598$, $p < .001$), ainsi qu'un effet des capacités spatiales, ($\beta = .212$, $t = 2.153$, $p = .034$). En revanche, les résultats ne montrent pas d'effet d'interaction, ($\beta = .008$, $t = .046$, $p = .963$).

3.3. Performances d'apprentissage

Des analyses de régressions linéaires ont été réalisées pour analyser l'effet de la condition d'apprentissage et des capacités spatiales sur les performances d'apprentissage des étudiant·es. Les scores moyens obtenus aux tests et les écart-types sont présentés dans le Tableau 11.

Concernant le **test de mémorisation**, les résultats montrent que le modèle est significatif, $F(3, 80) = 2.65$, $p = .054$, et explique 30.1% de la variance des performances ($R = .301$, $R^2 = .095$). Les coefficients des prédicteurs révèlent que la condition d'apprentissage est un facteur significatif ($\beta = .967$, $t = 1.94$, $p = .056$). Conformément à l'Hypothèse 2, les étudiant·es de la condition « mémorisation » ($M = 5.93$, $ET = 1.16$) obtiennent des résultats plus élevés que celleux de la condition « recopie » ($M = 5.41$, $ET = 1.34$). De plus, les capacités spatiales ont un effet significatif sur la mémorisation ($\beta = .053$, $t = 2.12$, $p = .037$). Les étudiant·es ayant de hautes capacités spatiales obtiennent des scores significativement plus élevés (Hypothèse 4). Une analyse supplémentaire a été réalisée pour tester une interaction entre la condition d'apprentissage et les capacités spatiales. Cette interaction n'était pas significative ($p = .182$).

Concernant **la compréhension**, le modèle n'était pas significatif, $F(3, 80) = 2.30$, $p = .068$, avec un coefficient de détermination $R^2 = .084$. Les résultats montrent que la condition d'apprentissage n'a pas d'effet sur la compréhension ($\beta = -.069$, $t = -.206$, $p = .837$). L'Hypothèse 2 n'est donc pas validée pour cette seconde mesure. En revanche, les capacités spatiales ont un effet significatif sur la compréhension, ($\beta = .040$, $t = 2.385$, $p = .019$). Les étudiant·es ayant des capacités spatiales élevées obtiennent des scores plus élevés au test de compréhension (Hypothèse 4). L'interaction entre la condition d'apprentissage et les capacités spatiales n'était pas significative ($p = .781$).

Pour le **score de présence relatif au test de connaissances visuospatiales** (tâche de complétion), le modèle n'était pas significatif, $F(3, 80) = 1.75$ avec $R^2 = .059$. Ni la condition d'apprentissage ($\beta = -.169$, $t = -.645$, $p = .521$), ni les capacités spatiales ($\beta = .021$, $t = 1.602$, $p = .113$) n'ont montré d'effet significatif sur le score de présence. Il en est de même concernant **le score de précision**. Le modèle n'était pas significatif, $F(3, 80) = 1.24$ avec $R^2 = .044$. Ni la condition d'apprentissage ($\beta = -.409$, $t = -.687$, $p = .494$), ni les capacités spatiales ($\beta = .042$, $t = 1.396$, $p = .166$) n'a d'effet sur le score de précision. Les deux modèles ne présentent pas d'interaction significative.

Tableau 11.
Statistiques descriptives des performances d'apprentissage par condition.

Mesures	Condition d'apprentissage	*N*	*M*	*ET*
Test de mémorisation	**Recopie**	41	5.41	1.34
	Mémorisation	43	5.93	1.16
Test de compréhension	**Recopie**	41	2.61	.862
	Mémorisation	43	2.56	.825
Score présence	**Recopie**	41	8.83	.543
	Mémorisation	43	8.63	.725
Score de précision	**Recopie**	41	7.85	1.53
	Mémorisation	43	7.58	1.38

Note. *N* = échantillon par groupe ; *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

3.4. Utilité perçue du dessin

Une analyse de variance à mesures répétées (ANOVA) a été réalisée pour examiner l'effet de la condition d'apprentissage sur les perceptions des étudiant·es concernant la stratégie de dessin. Les résultats n'ont pas montré d'effet principal de la condition, $F(1, 81) = 1.19$, $p = .280$, ni du moment de la mesure $F(1, 81) = .069$, $p = .792$. De plus, l'interaction entre la condition d'apprentissage et le moment du test n'était pas significative, $F(1, 81) = .015$, $p = .902$. De manière descriptive, nous observons des scores particulièrement élevés d'utilité perçue de la stratégie de dessin dès le pré-test. Ces estimations restent élevées après la mise en situation d'apprentissage (voir Tableau 12). Globalement, les étudiant·es estiment que le fait de réaliser un dessin est particulièrement utile à l'apprentissage de l'anatomie, et l'activité proposée lors de cette étude n'a pas modifié leur perception.

Tableau 12.
Score d'utilité perçue des différentes stratégies de dessin d'apprentissage estimée en pré-test et post-test (Likert de 1 à 9).

Utilité perçue	Condition d'apprentissage	*N*	*M*	*ET*
Pré-test	**Recopie**	40	6.71	1.91
	Mémorisation	43	7.11	1.42
Post-test	**Recopie**	41	6.79	1.91
	Mémorisation	43	7.13	1.59

Note. *N* = échantillon par groupe ; *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.

4. Discussion

4.1. Effet du type d'activité de dessin sur les performances d'apprentissage

L'objectif principal de cette étude était de tester deux stratégies d'apprentissage par le dessin. Notre première hypothèse supposait un effet de la recopie sur la qualité des dessins produits pendant la phase d'apprentissage. Les résultats montrent que la qualité des dessins est supérieure en condition « recopie » par rapport à la condition « mémorisation », confirmant notre hypothèse. Ce constat est cohérent avec l'idée que la recopie fourni un modèle visuel direct pendant l'élaboration du dessin, facilitant une reproduction précise des éléments anatomiques. Les étudiant·es qui ont recopié le modèle ont produit des dessins plus complets et plus précis que celleux qui ont généré de mémoire. Cependant, la qualité supérieure des dessins produits en recopie n'a pas conduit à de meilleures performances d'apprentissage. Comme nous le prédisions avec la deuxième hypothèse, c'est la stratégie de dessin réalisé de mémoire qui a eu un effet sur l'apprentissage. En effet, notre deuxième hypothèse est partiellement validée. Les résultats ont montré que l'effort de récupération induite par la condition « mémorisation » a conduit à un meilleur rappel des éléments à apprendre. Ces premiers résultats contredisent l'effet pronostique rapporté dans la littérature, selon lequel la qualité des dessins réalisés pendant l'apprentissage serait un prédicteur des performances d'apprentissage. Dans le contexte de notre étude, la qualité des dessins joue un rôle moins déterminant que l'effort cognitif engagé pendant la tâche d'apprentissage. En revanche, le type de tâche de dessin n'a pas eu d'effet sur la complétion de dessin et la compréhension. Ce résultat pourrait être expliqué par la nature du cours qui correspond principalement à de l'anatomie descriptive. S'agissant de connaissances plus factuelles que

fonctionnelles, la nature du cours peut ne pas avoir facilité le transfert des connaissances vers la pratique.

4.2. Rôle des capacités spatiales dans l'efficacité de la stratégie de dessin

Le deuxième objectif de cette étude visait à explorer l'effet des capacités spatiales sur la stratégie de dessin et les performances d'apprentissage. Ces aptitudes se sont révélées avoir un effet sur ces mesures, validant nos hypothèses 3 et 4. Les étudiant·es ayant des capacités spatiales élevées ont produit des dessins de meilleure qualité, indépendamment du type de tâche de dessin, et ont également obtenu de meilleurs scores de rappel et de compréhension. Ces résultats confirment l'impact des capacités spatiales dans les activités d'apprentissage impliquant la manipulation de contenus visuels complexes, tel que la génération de dessins anatomiques.

Les résultats de cette étude suggèrent donc que, dans un contexte d'apprentissage de l'anatomie qui nécessite une représentation visuelle interne, l'activité de dessin en tant que stratégie générative doit être adaptée pour être efficace sur l'apprentissage. L'effort de récupération mobilisé par le fait de dessiner « de mémoire » semble apporter un bénéfice pour les étudiant·es comparativement à une activité de recopie. Par ailleurs, les capacités spatiales semblent être un facteur important à prendre en compte dans l'analyse de la stratégie de dessin. Celles-ci étant prédictives des performances d'apprentissage.

Enfin, les résultats relatifs à l'utilité perçue de l'activité de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie n'ont pas révélé de différence significative entre les deux stratégies utilisées. Cependant, les scores élevés obtenus tant au pré-test qu'au post-test indiquent que, déjà avant

l'étude, l'activité de dessin était considérée comme particulièrement utile pour l'apprentissage de l'anatomie. Cette perception positive est restée stable après la phase d'apprentissage. L'expérience de génération de dessin n'a pas modifié leur conviction quant à l'utilité de cette stratégie pour l'apprentissage des structures du corps humain.

4.3. Limites et perspectives

Cette étude présente plusieurs limites. Tout d'abord, l'absence d'un groupe contrôle composé d'étudiant·es qui ne dessinent pas pendant l'apprentissage ne permet pas de vérifier l'effet de la génération sur les performances d'apprentissage mais cet effet positif a déjà été démontré dans d'autres études du projet. L'ajout d'une condition contrôle aurait également été nécessaire pour déterminer si l'une des deux stratégies de dessin proposées est réellement plus efficace qu'une stratégie plus passive. Celle-ci aurait aussi permis d'examiner si les différences observées entre les deux types de dessin dans le chapitre précédent se retrouvaient dans un contexte d'apprentissage portant sur de l'anatomie descriptive.

Par ailleurs, la condition « mémorisation » repose sur la théorie de la difficulté désirable, qui suggère un effet à long terme. Cependant, notre étude porte essentiellement sur des effets à court terme. Une évaluation des performances réalisée une à deux semaines après l'apprentissage serait nécessaire pour apprécier la consolidation des connaissances. De plus, d'autres variables que les capacités spatiales peuvent moduler les effets de la stratégie de dessin. De futures recherches pourraient explorer comment les variables telles que la charge cognitive, l'intérêt situationnel, ou la métacognition interagissent avec l'activité de dessin dans un but d'apprentissage de l'anatomie.

5. Conclusion

Pour conclure, l'étude présentée dans ce chapitre montre que les capacités spatiales jouent un rôle dans l'apprentissage de contenus à forte composante spatiales, tels que l'anatomie. Dans l'ensemble, les résultats confirment que l'efficacité de la stratégie d'apprentissage par le dessin dépend à la fois du type d'activité de dessin et des capacités spatiales des apprenant·es. Si la recopie favorise l'élaboration de dessins plus précis, elle n'améliore pas les performances d'apprentissage. A l'inverse, le dessin réalisé de mémoire conduit à un meilleur rappel des connaissances, confirmant le rôle bénéfique de l'effort de récupération dans l'apprentissage. Par ailleurs, les capacités spatiales se révèlent entre un facteur déterminant. Les apprenant·es ayant de fortes capacités spatiales produisent des dessins de meilleure qualité et obtiennent de meilleurs scores de compréhension et de mémorisation.

Synthèse du chapitre 7

Objectifs : Étudier le rôle des capacités spatiales dans l'efficacité des stratégies de dessin.

Méthode : deux conditions d'apprentissage ont été comparées : Recopie, Mémorisation.

Hypothèses :

- Meilleure qualité de dessins produits pendant l'apprentissage en condition recopie, mais meilleures performances d'apprentissage (post-test) en condition mémorisation.
- Les capacités spatiales devraient modérer l'efficacité du dessin.

Résultats :

- Dessin de mémoire efficace pour du contenu purement anatomique et descriptif.
- Rôle important des capacités spatiales dans l'efficacité du dessin : les apprenant·es ayant de hautes capacités spatiales bénéficient plus du dessin que celleux a faibles capacités spatiales.

Discussion générale

L'objectif de cette thèse était d'étudier l'activité de dessin comme stratégie d'apprentissage de l'anatomie. Elle visait à comprendre comment les apprenant·es mobilisent cette stratégie et quels processus cognitifs elle engage. Plus spécifiquement, ce travail a permis d'analyser les effets du dessin sur différentes dimensions de l'apprentissage (mémorisation, compréhension, métacognition, et intérêt) ainsi que le rôle de caractéristiques individuelles des apprenant·es. Elle visait à identifier les conditions dans lesquelles le dessin constituait une stratégie efficace, en tenant compte du type de tâche (recopie, dessin de mémoire), du format des contenus étudiés (anatomie, physiologie) et des supports fournis.

Les deux premières études (chapitre 4) visaient à examiner les effets d'une stratégie d'apprentissage par le dessin dans un contexte propre à l'anatomie. Ces études s'appuient sur l'hypothèse de l'effet génératif selon laquelle le dessin favorise la construction d'un modèle mental en engageant des processus de sélection, d'organisation et d'intégration (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Elles cherchaient à déterminer si cet effet se manifestait également lorsque le dessin prenait la forme d'une activité de recopie. En effet, contrairement à la majorité des travaux antérieurs qui ont examiné le dessin à partir de la lecture d'un texte seul, ces premières études ont évalué ses effets à partir d'un document multimédia composé de textes et d'illustrations. L'enjeu était de comprendre dans quelle mesure cette modalité pouvait engager ou au contraire limiter les processus génératifs attendus et d'évaluer ses effets sur l'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation des apprenant·es. Pour cela, deux conditions d'apprentissage ont été comparées : une condition sans activité de dessin et une condition incluant une activité de dessin par recopie. Le même

protocole expérimental a été utilisé avec deux contenus différents : le rachis pour les étudiant·es en kiné (étude 1) et l'œil pour les apprenant·es infirmier·es (étude 2). La réplication du protocole dans ces deux contextes a permis de tester la robustesse des résultats. Les résultats de ces études ont mis en évidence des effets nuancés de l'activité de dessin sur l'apprentissage de l'anatomie. Ils montrent que le dessin peut améliorer la mémorisation des informations visuospatiales et la précision de l'auto-évaluation, mais n'a pas d'effet sur la compréhension. Toutefois, les observations issues de ces premières études, tant sur les performances que sur les limites méthodologiques, ont conduit à affiner l'analyse en distinguant les informations textuelles et illustrées, ainsi que la surcharge cognitive potentielle liée à la simultanéité des tâches, ont mis en évidence la nécessité d'un protocole plus précis.

L'étude 3 (chapitre 5) reprenait le questionnement central lié à l'effet génératif du dessin par recopie sur l'apprentissage et la précision de l'auto-évaluation. Deux ajustements majeurs ont été introduits. Premièrement, les mesures de performance ont été affinées afin de distinguer les informations issues du texte de celles issues des illustrations. Deuxièmement, les phases de consultation et de génération ont été séparées dans le but de réduire la charge cognitive induite par la double tâche et d'éviter un effet de traitement focalisé sur les éléments illustrés (Jamet & Michinov, 2022a). L'objectif était de répondre aux limites identifiées dans les premières études en optimisant la répartition des charges cognitives entre les différentes étapes de la tâche. Ainsi, dans la troisième étude de cette thèse, trois conditions d'apprentissage ont ainsi été comparées : une condition contrôle (sans activité de dessin), une condition « consultation-dessin », et une condition « dessin-consultation ». L'ordre de ces deux phases a été manipulé afin d'examiner un éventuel effet d'ordre sur la stratégie de dessin. Les résultats de cette étude ont montré un effet positif du dessin sur le test de connaissances

visuospatiales et la précision de l'auto-évaluation, comme retrouvé dans les premières études. En revanche, aucun effet du dessin n'est retrouvé sur le test de rappel verbal, ni pour les informations illustrées, ni pour les informations textuelles. De même, aucun effet n'est observé sur la compréhension. Par ailleurs, aucun effet de l'ordre des tâches n'a été relevé sur l'ensemble des mesures.

Si l'étude 3 a permis de mieux comprendre les processus cognitifs en jeu, elle a également soulevé une interrogation concernant la nature même de l'activité de recopie. Bien qu'elle soit couramment utilisée en anatomie, cette activité risque d'induire un traitement excessivement passif, limitant les bénéfices généralement associés à la génération active. Cela a conduit à envisager une forme de mise en œuvre de l'activité de dessin plus exigeante cognitivement. L'étude 4 (chapitre 6) visait donc à comparer la recopie à une modalité plus engageante : le dessin d'apprentissage réalisé de mémoire. Cette activité exigeait un effort de récupération mentale plus important que la simple recopie. L'étude s'est appuyée sur les travaux de Bjork et al. (2014; 2011) pour formuler l'hypothèse que le dessin réalisé de mémoire était une tâche qui pouvait induire une difficulté désirable paradoxalement favorable à l'apprentissage. Ainsi, trois conditions ont été comparées : une condition contrôle (sans activité de dessin), une condition de dessin par recopie, et une condition de dessin de mémoire. Les dimensions de la charge cognitive et l'intérêt ont également été examinés. Les résultats obtenus confirment que les effets du dessin sur l'apprentissage restent limités, y compris pour les informations visuospatiales pour lesquelles un bénéfice était attendu. Cette absence d'effet positif semble être liée à la nature du contenu pédagogique, essentiellement fonctionnel (physiologie), contrairement aux autres études de la thèse. Dans ce contexte, l'activité apparait avoir un impact négatif sur la mémorisation des informations textuelles et la compréhension. Par

ailleurs, aucun effet n'a été observé sur les mesures auto-rapportées de charge cognitive, d'intérêt et d'utilité perçue ou de précision de l'auto-évaluation. Cependant, la mise en œuvre du dessin de mémoire repose sur des capacités visuospatiales qui peuvent varier fortement d'un·e apprenant·e à l'autre. Cette variabilité pourrait expliquer les différences observées entre les apprenant·es dans les études précédentes. Cela a conduit à aborder la dernière question concernant le rôle des capacités spatiales dans la stratégie de dessin.

Ainsi, l'étude 5 (chapitre 7) a prolongé la comparaison entre recopie et dessin de mémoire en intégrant explicitement cette dimension spatiale. Elle visait à comprendre dans quelle mesure les capacités spatiales influencent l'efficacité des différentes modalités de dessin. Les résultats ont montré que pour un contenu purement anatomique, une différence apparait entre les deux types d'activité de dessin (recopie, mémoire). Le dessin de mémoire semble améliorer le rappel des connaissances. Plus largement, l'étude montre que l'efficacité du dessin comme stratégie d'apprentissage dépend à la fois du type d'activité et également des capacités spatiales des apprenant·es. Les apprenant·es disposant de hautes capacités spatiales semblent bénéficier davantage de la stratégie de dessin d'apprentissage. Ainsi, cette étude confirme que les capacités spatiales jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage de contenus à forte composante spatiale et modulent l'effet des différentes formes de dessin sur l'apprentissage.

1. Contributions empiriques et théoriques

1.1. Effets des stratégies de dessin sur l'apprentissage

Les résultats de l'ensemble des études de cette thèse convergent pour montrer que le dessin exerce un effet positif sur l'acquisition des connaissances visuospatiales. Ce constat est cohérent avec les modèles de la génération de dessin proposés par Van Meter et Garner (2005) et Van Meter et Firetto (2013) qui montrent que l'activité de dessin engage des processus de sélection, d'organisation et d'intégration favorisant la construction d'une représentation visuelle et d'un modèle mental cohérent. Dans nos études, cet effet se traduit par de meilleurs scores aux tests évaluant les connaissances visuospatiales (complétion d'illustration partielle et rappel à l'aide d'une tâche de dessin) pour les apprenant·es ayant dessiné pendant l'apprentissage, comparativement à celleux ayant uniquement consulté le cours. Ce résultat rejoint les études qui montrent que l'activité de dessin constitue une stratégie d'apprentissage plus efficace qu'une approche plus passive (Fiorella & Mayer, 2015; Fiorella & Zhang, 2018).

Cependant, nos résultats montrent également que l'effet génératif est limité. Lorsqu'il s'agit de traiter les informations provenant du texte ou les informations sans composantes spatiales fortes, l'effet du dessin n'est pas retrouvé et peut même parfois devenir défavorable. Ce résultat est mis en lumière par l'effet de traitement focalisé (Jamet & Michinov, 2022). Dans toutes les études, les apprenant·es ayant dessiné tendent à concentrer leurs ressources attentionnelles sur les éléments visuels ou spatialement saillants. Autrement dit les éléments utiles à la construction du dessin. Cette focalisation se fait au détriment d'autres informations, notamment verbales, qui sont pourtant importantes pour la compréhension globale du

contenu à apprendre. Ce biais rend donc difficile l'intégration des différentes sources d'information, pourtant centrale dans les modèles théoriques. Ces résultats contrastent avec les modèles classiques de la littérature de l'apprentissage par le dessin, qui supposent une transformation active d'un contenu textuel en une représentation visuelle (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Dans nos études, le dessin n'est pas généré à partir d'un texte seul mais à partir d'un modèle illustré accompagné d'un texte. Il semblerait que l'étape de transformation des informations verbales n'est pas réalisée et que ces dernières seraient faiblement traitées ou ignorées. Ainsi, le processus de transformation du contenu textuel en représentation visuelle ne s'opère pas pleinement, ce qui pourrait expliquer l'absence d'effet positif du dessin sur l'apprentissage du contenu textuel. Le phénomène de focalisation sur les informations spatiales et illustrées apparait particulièrement marqué lorsque le texte et l'illustration fournis dans le contenu pédagogique ne sont pas redondants. En effet, l'étude 4 apporte un éclairage particulier car elle utilise un matériel pédagogique différent des autres études. Le contenu y inclut des informations explicatives et fonctionnelles importantes, présentées principalement dans le texte et viennent compléter l'illustration. Lorsque les deux sources d'informations transmettent des éléments très différents, l'illustration portant sur des aspects structurels et le texte sur des aspects fonctionnels, l'activité de dessin semble accentuer le traitement visuel. Cette focalisation rend difficile l'élaboration d'un modèle mental cohérent qui intègre l'ensemble des informations.

Enfin, nos travaux apportent un éclairage intéressant sur les effets du dessin en matière de métacognition, et plus particulièrement sur la précision de l'auto-évaluation. Deux études de la thèse montrent un effet positif du dessin sur cette mesure. Ce résultat s'explique en partie par la présence du modèle fourni dans le cours, qui offre aux apprenant·es une référence

explicite leur permettant de comparer leur dessin à celui-ci, d'identifier leurs erreurs et d'ajuster progressivement leurs représentations externe et interne. Ce processus fait écho aux phases décrites par le modèle de Van Meter et Firetto (2013) concernant la régulation de l'apprentissage par le dessin. Dans la phase de planification, le modèle sert de point d'appui pour établir les critères de réussite (niveau de détail, relations spatiales, précision attendue), guidant ainsi l'apprenant·e dans la définition des standards de la tâche. Dans la phase d'engagement, l'apprenant·e sélectionne, organise et intègre les informations issues du texte et de l'illustration afin de construire un modèle mental puis un dessin externalisé. Ici encore, le modèle illustré fourni facilite l'organisation. Enfin et surtout, dans la phase d'autosurveillance, essentielle au processus de régulation, les difficultés rencontrées lors du dessin signalent les lacunes de compréhension. Le modèle fourni permet une comparaison immédiate ce qui favorise l'identification des erreurs et l'ajustement du dessin et du modèle mental.

Les études menées dans cette thèse ont également exploré l'efficacité de deux stratégies de dessin : le dessin réalisé par recopie et le dessin réalisé de mémoire. Les résultats ont montré que leur efficacité diffère sensiblement. Les premières études, centrées sur la recopie, indiquent que cette modalité, bien qu'elle permette de produire des dessins plus précis et structurés, n'améliore pas systématiquement les performances d'apprentissage et tend à accentuer l'effet de traitement focalisé sur les illustrations. Les études 4 et 5 ont testé l'hypothèse de la difficulté désirable (Bjork et al., 2014; Bjork & Bjork, 2011) et ont ainsi amené les apprenant·es à effectuer un effort de récupération des informations en mémoire pour élaborer leur dessin. Cette modalité modifie effectivement la qualité des dessin produits qui sont légèrement moins précis qu'en recopie. Toutefois, les effets ne sont pas uniquement

négatifs. Les deux études montrent des résultats contrastés et dépendant du type de contenu pédagogique. Ainsi, la recopie semble soutenir l'acquisition des connaissances visuospatiales mais limite l'intégration de toutes les sources d'information, tandis que le dessin de mémoire peut renforcer la mémorisation mais uniquement lorsque la difficulté induite reste maitrisable.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent, malgré son potentiel pour soutenir l'acquisition des connaissances anatomiques visuospatiales, que le dessin est une stratégie dont les effets sont limités. L'efficacité dépend fortement de la nature du contenu pédagogique et du type de connaissances ciblées. Par ailleurs, les résultats montrent que l'efficacité du dessin dépend des modalités d'évaluation utilisées pour mesurer les apprentissages. Les tests verbaux (QCM ou questions ouvertes) semblent moins sensibles que les évaluations à composante spatiale telles que les tests de complétion, de légendage ou le test de dessin pour mesurer l'acquisition des connaissances anatomiques. Ce constat rejoint les observations de Langlois et al. (2017) et Roach et al. (2021) qui soulignent que les tests verbaux peuvent sous-estimer les effets des stratégies impliquant des représentations spatiales, car ils ne mesurent pas l'encodage visuel. A l'inverse, les tests spatiaux reflètent davantage la qualité des représentations construites. Cette dépendance au type de test doit être prise en compte pour interpréter les résultats, mais aussi pour concevoir des outils d'évaluation cohérents avec les objectifs pédagogiques en anatomie. Dans l'ensemble, les travaux de cette thèse suggèrent donc l'intérêt de compléter les évaluations verbales classiques par des tests visuospatiaux (tâches de dessin, légendage, reconnaissance), plus cohérents avec les objectifs d'apprentissage en anatomie.

1.2. Intérêt élevé des apprenant·es pour la stratégie de dessin

Un constat majeur, transversal aux cinq études, concerne l'intérêt marqué des apprenant·es pour l'activité de dessin et leur perception de son utilité pour l'apprentissage de l'anatomie. Quel que soit le contexte expérimental, qu'il s'agisse de la recopie, du dessin dans un protocole qui segmente les phases de lecture et de génération, ou de la comparaison entre recopie et dessin de mémoire, le même pattern apparait. Les apprenant·es considèrent le dessin comme une stratégie utile avant même de réaliser l'activité en situation d'apprentissage, et cette perception reste stable après l'apprentissage, indépendamment de la condition expérimentale ou des performances obtenues. Ce résultat rejoint les conclusions de la revue de littérature de Peart (2022), qui souligne que de nombreux travaux montrent que les étudiant·es perçoivent souvent le dessin comme une activité adaptée et utile pour apprendre l'anatomie. Cela suggère que la perception d'utilité du dessin est fortement ancrée chez les apprenant·es, indépendamment de la manière dont l'activité est mise en œuvre. Ainsi, la perception d'utilité de la stratégie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie constitue un résultat pédagogique important. Même si les effets du dessin sont nuancés dans nos études, l'intérêt marqué des apprenant·es représente un levier potentiel d'engagement et de motivation qui peuvent soutenir l'apprentissage. De plus, l'attrait associé à l'usage de la tablette que nous avons pu mesurer dans le cadre du projet SKETCH, semble renforcer cette perception positive.

2. Implications pédagogiques

Les résultats de cette thèse apportent plusieurs éclairages sur les conditions dans lesquelles le dessin peut constituer une stratégie d'apprentissage pertinente en anatomie. Au-delà des effets observés sur la mémorisation, la compréhension et la précision de l'auto-évaluation, l'ensemble des études met en évidence des éléments susceptibles d'orienter l'usage du dessin dans les pratiques pédagogiques. Les implications suivantes concernent à la fois la conception des activités de dessin, leur intégration dans les dispositifs d'enseignement et l'accompagnement des apprenant·es.

Les résultats des différentes études montrent que le fait de générer un dessin tout en apprenant·es des notions d'anatomie favoriserait l'acquisition et l'organisation des connaissances spatiales, en particulier lorsque ces connaissances étaient évaluées à l'aide de tests non verbaux. Par conséquent, nos résultats pourraient encourager l'utilisation de la stratégie de dessin comme outil d'apprentissage des connaissances anatomiques. Son intégration dans les cours d'anatomie, en particulier pour les structures complexes, pourrait aider les apprenant·es à mieux organiser et mémoriser les relations spatiales qui existent entre les éléments anatomiques. Cette recommandation apparait d'autant plus pertinente que nos résultats montrent un intérêt élevé des apprenant·es pour l'activité de dessin, perçue comme utile pour l'apprentissage de l'anatomie. Enfin, l'utilisation de tâches d'évaluation visuospatiale, telles que des épreuves de dessin ou de complétion, pourrait constituer un complément pertinent aux évaluations verbales classiquement utilisées, en offrant un indicateur plus sensible de la qualité de l'apprentissage.

Par ailleurs, les résultats montrent également que le dessin permet une meilleure précision de l'auto-évaluation. En produisant un dessin, les apprenant·es externalisent leurs connaissances, ce qui rend plus visible leurs lacunes ou leurs erreurs. Autrement dit, les apprenant·es estiment plus justement leur propre compréhension du contenu étudié. Ainsi, le dessin pourrait constituer un outil pertinent de suivi de l'apprentissage, en aidant les apprenant·es à mieux évaluer leur niveau de maitrise et à ajuster leurs stratégies en conséquence. Son utilisation pourrait être encouragée pour la préparation aux examens.

Enfin, les résultats indiquent que le dessin, s'il est utile pour certaines dimensions de l'apprentissage, n'est pas une stratégie efficace pour encoder tous types d'information. Il peut se révéler peu efficace, voire contre-bénéfique pour l'apprentissage d'informations textuelles. Cette activité pourrait donc être complétée par d'autres types de stratégies actives, comme la prise de notes ou la rédaction de résumés (Eidman & Fiorella, 2024; Fiorella & Zhang, 2018b; Leopold & Leutner, 2012b; Schmeck et al., 2014). La complémentarité entre ces stratégies pourrait offrir aux apprenant·es des modes de traitement variés du contenu et ainsi réduire les effets négatifs associés au dessin. L'étude de Lawson et Mayer (2024) a apporté un éclairage intéressant en examinant l'effet de la combinaison dessin + résumé dans une leçon multimédia composée d'animations et de textes. Les auteur·es montrent que cette combinaison n'entraine pas d'effet additif sur l'apprentissage et n'est pas plus efficace que le résumé seul. Toutefois, même si l'effet combiné ne se manifeste pas clairement dans cette étude, l'idée d'explorer la complémentarité entre plusieurs stratégies reste particulièrement pertinente. Dans le cadre de nos travaux, qui mobilisent du matériel à la fois verbal et illustré, et qui implique une compréhension des relations spatiales, la combinaison d'activités comme le dessin et la prise de notes pourrait favoriser l'intégration des deux modalités et offrir des bénéfices que les

stratégies prises isolément ne permettent pas nécessairement. De futures recherches sont donc nécessaires pour déterminer dans quelles conditions la combinaison de stratégies actives peut optimiser l'apprentissage en anatomie.

Pour résumer sur le plan pédagogique, les résultats de cette thèse invitant à concevoir le dessin comme un outil dont l'usage doit être ajusté aux objectifs d'apprentissage et au profil des apprenant·es. Ainsi, plusieurs pistes peuvent être proposées :

- Intégrer le dessin avec d'autres stratégies qui soutiennent le traitement des informations textuelles et explicatives, comme la prise de notes par exemple.
- Adapter le mode d'activité de dessin au niveau de connaissances et de capacités spatiales des apprenant·es
- Diversifier les modalités d'évaluation des connaissances anatomiques
- Exploiter l'intérêt et l'engagement que peut susciter le dessin et l'usage d'outils numériques pour l'apprentissage

3. Limites et perspectives de recherche

3.1. Avantages et inconvénients du contexte écologique

Les études menées dans cette thèse se déroulaient dans des contextes écologiques, c'est-à-dire des études en terrain d'enseignement réel. Ce contexte constitue à la fois un avantage et un inconvénient. D'un côté, travailler en conditions réelles permet de garantir une meilleure validité externe : les activités sont réalisées dans un environnement familier, par de véritables étudiant·es en formation, et les contenus correspondent à ceux qu'iels doivent

effectivement apprendre. Ce cadre renforce la pertinence des résultats pour les pratiques pédagogiques. Toutefois, ce même contexte écologique comporte plusieurs contraintes méthodologiques. Les séances d'apprentissage de nos études ont été limitées dans le temps en raison de contraintes matérielles, des consignes expérimentales et du temps nécessaire au remplissage des questionnaires. Ces contraintes ne reflétaient pas les conditions réelles d'apprentissage, ce qui justifie que les temps d'apprentissage n'aient pas été analysés. De plus, même si les apprenant·es travaillent dans leur environnement habituel, iels restent soumis à des consignes strictes qui ne reflètent pas nécessairement les stratégies spontanées. Il n'est effectivement pas certain que les étudiant·es utilisent spontanément l'activité de dessin. Bien que nos résultats montrent un intérêt élevé pour cette stratégie en anatomie, elle demeure très peu utilisée en contexte de cours, ce qui suggère qu'elle peut ne pas être assez maitrisée pour être employée de manière autonome et spontanée. Ce constat rejoint les résultats de Eidman et Fiorella (2024) qui montrent que les étudiant·es ne choisissent presque jamais de dessiner lorsqu'iels étudient un texte scientifique, même lorsque cette option leur est explicitement proposée. Enfin, tout simplement le fait de participer à une étude et de savoir que leurs réponses seront analysées, même de manière anonyme, peut également influencer leur comportement.

3.2. Limites liées aux évaluations

Une limite des études concerne l'absence de mesures différées visant à évaluer la rétention des connaissances au-delà du post-test immédiat. Or, la littérature sur les difficultés désirables et l'effet de testing montre que les bénéfices cognitifs liés à des activités exigeantes, comme dessiner de mémoire, tendent à se manifester à long terme plutôt qu'à court terme

(Dunlosky, 2013; Roediger & Karpicke, 2006). Sans mesure de rétention différée, il n'est pas possible de déterminer si les stratégies testées présentent un avantage durable sur l'apprentissage. Les résultats obtenus doivent donc être interprétés avec prudence, et des évaluations à plusieurs jours ou semaines d'intervalle seraient nécessaires pour appréhender pleinement les effets du dessin d'apprentissage sur la consolidation mnésique.

Dans certaines études, notamment celles où le test de rappel consistait à reproduire un dessin ou une structure pendant l'apprentissage, un effet d'apprentissage spécifique lié au dessin pourrait avoir biaisé les résultats. Les apprenant·es ayant déjà dessiné la structure pendant la phase d'étude disposaient potentiellement d'un avantage lorsqu'il s'agissait de produire de nouveau un dessin similaire lors du post-test. Cet effet d'entrainement rend difficile la distinction entre une amélioration réelle des connaissances visuospatiales et une simple familiarisation avec la tâche. L'utilisation de mesures différentes de celles pratiquées pendant l'apprentissage (tests de reconnaissance, complétion, ou supports illustrés) permettrait de réduire cet effet et de mieux isoler les effets cognitifs du dessin d'apprentissage.

3.3. Limites liées aux modalités de dessin : recopie et dessin de mémoire

La nature des activités proposées représente une autre limite. Dans plusieurs études, la tâche de dessin consistait principalement en une recopie d'un modèle visuel, ce qui mobilise peu les processus génératifs associés à une compréhension profonde du contenu. La recopie peut encourager une focalisation sur l'esthétique du dessin plutôt que sur l'organisation des connaissances. A l'inverse, la tâche de dessin de mémoire telle qu'elle a été proposée dans nos études était peut-être insuffisante pour révéler pleinement leurs bénéfices potentiels. Dans

l'étude 4, le modèle de l'enseignant·e disparaissait à chaque étape pour permettre aux apprenant·es de dessiner de mémoire la partie correspondante, mais réapparaissait immédiatement à l'étape suivante afin de poursuivre la construction du dessin. Dans ces conditions, l'effort de récupération était limité. Les apprenant·es pouvaient réexaminer le modèle plusieurs fois au fil de la séance, ce qui transformait progressivement la tâche en une forme de recopie segmentée plutôt qu'en véritable rappel libre. Cette contrainte méthodologique pourrait expliquer l'absence d'effet clair sur les performances d'apprentissage. En revanche, la possibilité d'ajuster son dessin étape par étape en comparant régulièrement sa production au modèle pourrait rendre compte de l'amélioration observée dans les auto-évaluations. Les apprenant·es disposaient d'un retour visuel continu permettant un calibrage plus précis de leurs connaissances. Dans l'étude 5, la tâche de dessin de mémoire était accompagnée d'un étayage verbal guidant les apprenant·es dans la réalisation. Cette aide a probablement réduit l'ampleur de l'effort de récupération. Une partie des informations textuelles à rappeler était directement fournie dans l'étayage, ce qui a pu conduire les apprenant·es à se focaliser principalement sur les éléments de leur dessin. Là encore, l'effort de récupération a pu être limité.

Une autre étude expérimentale, non intégrée au manuscrit en raison de difficultés rencontrées, avait permis de proposer une tâche de dessin reposant sur un rappel libre complet. C'est-à-dire que les apprenant·es devaient rappeler librement l'ensemble des informations sous forme de dessin et d'annotations. Cette modalité se rapprochait davantage des conditions classiques du testing effect (Dunlosky, 2013; Roediger & Karpicke, 2006; Schwieren et al., 2017). Cette tâche de dessin de mémoire aurait pu engendrer un effort de récupération plus robuste et améliorer l'apprentissage.

De manière plus générale, comparer différentes formes de dessin réalisé de mémoire (rappel libre, rappel guidé, etc.) constituerait une perspective de recherche importante. Une telle comparaison permettrait d'identifier les processus cognitifs mobilisés par chaque modalité, ainsi que leurs effets distincts sur l'apprentissage de l'anatomie. Cette approche contribuerait à déterminer quelles formes de dessin de mémoire sont les plus bénéfiques et dans quelles conditions elles optimisent réellement l'efficacité de la stratégie de dessin.

3.4. Effets du contenu d'apprentissage

Les résultats de cette thèse suggèrent que l'efficacité des stratégies de dessin dépend en partie de la nature du contenu d'apprentissage. Plus spécifiquement, le dessin de mémoire semble engager un effort de récupération susceptible de favoriser la mémorisation des connaissances anatomiques, mais uniquement lorsque le contenu est principalement descriptif et purement anatomique. Lorsque les contenus abordés mobilisent davantage des explications fonctionnelles, les effets du dessin apparaissent plus limités. Ainsi, ces résultats ouvrent des perspectives de recherche dont les objectifs seraient d'identifier, pour chaque type de contenu, les stratégies de dessin les plus pertinentes, et de mieux adapter les modalités de dessin aux exigences du contenu à apprendre. Par ailleurs, l'effet du format statique ou dynamique des illustrations proposées dans les contenus d'apprentissage n'a pas été examinée. Or, le caractère transitoire ou non des informations pourrait toutefois jouer un rôle important dans l'apprentissage et constitue une piste de recherche à approfondir au regard de cette littérature (e.g., Berney & Bétrancourt, 2017; Ploetzner et al., 2021)

3.5. Prise en compte limitée des caractéristiques individuelles des apprenant·es

Les études n'ont pas pleinement intégré l'influence des différences individuelles et les perceptions des apprenant·es sur les effets du dessin d'apprentissage. Une limite des travaux de cette thèse réside donc dans l'absence de mesures systématiques de la charge cognitive perçue et de l'engagement perçu lors de la mise en œuvre de la stratégie de dessin. Si nos résultats soulignent le rôle déterminant des capacités visuospatiales dans l'efficacité du dessin, l'intégration de données relatives aux perceptions des apprenant·es permettrait de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents. Les travaux récents de Poupard et al. (2024) montrent en effet que la charge cognitive extrinsèque et la motivation intrinsèque interagissent fortement pour moduler l'apprentissage, et que les effets d'une stratégie pédagogique ne peuvent pas être pleinement compris sans tenir compte de ces dimensions subjectives. Iels soulignent également que la prise en compte des facteurs cognitifs et motivationnels est essentielle pour concevoir et optimiser des environnements d'apprentissage efficaces, en particulier lorsqu'ils s'appuient sur des outils numériques, tels que la réalité virtuelle utilisée dans leur étude.

Au-delà des mesures auto-rapportées, l'usage d'une méthodologie basée sur l'eye-tracking constituerait également une piste pour affiner nos analyses. En enregistrant les mouvements oculaires, il serait possible de mieux comprendre la manière dont les apprenant·es distribuent leur attention entre le texte et l'illustration, d'identifier les zones de fixation prioritaires, la durée de traitement de chaque source d'information, ainsi que les éventuels changements de stratégie au cours de la tâche (e.g., Hellenbrand et al., 2019). Cette approche permettrait donc d'évaluer plus finement le traitement de l'information et les mécanismes de sélection

attentionnelles, en particulier dans les situations où le dessin favorise un traitement focalisé susceptible de détourner l'attention de certaines sources d'informations.

Ainsi, la combinaison de mesures subjectives et objectives concernant les processus de traitement et l'engagement des apprenant·es dans la tâche serait pertinente pour affiner nos conclusions et mieux adapter la stratégie de dessin aux besoins et aux caractéristiques des apprenant·es, en tenant compte de leurs profils cognitifs et motivationnels.

3.6. Avantages et inconvénients de l'intégration d'un outil numérique lié à un projet

Il est important de souligner que certaines limites observées dans ce projet proviennent des spécificités des recherches s'appuyant sur des technologies en développement. Le logiciel utilisé a été conçu et développé spécifiquement pour les besoins du projet et n'existe pas en dehors de celui-ci. Il a donc forcément évolué tout au long du projet. Comme c'est fréquemment le cas dans les projets associant une conception logicielle et protocoles expérimentaux, l'avancée du développement a nécessairement influencé les choix méthodologiques et les possibilités de collecte des données. Ces contraintes doivent être comprises comme inhérentes aux dynamiques de co-construction entre recherche et conception. Le travail fait sur le développement nous a permis de rendre possible l'exploitation empirique de la stratégie de dessin. Toutefois, certaines limites liées au matériel utilisé pour la mise en œuvre des activités de dessin sont à relever. Le logiciel développé spécifiquement pour ces études était encore en phase d'expérimentation et a présenté plusieurs dysfonctionnements au cours de la collecte des données. Ces problèmes techniques ont entrainé de nombreuses pertes de données, tant au niveau des production de dessin que des

mesures d'apprentissage, compromettant l'exploitabilité de plusieurs études. En conséquence, certaines études réalisées dans le cadre de cette thèse n'ont pas pu être intégrées au manuscrit, faute de données suffisantes, complètes et fiables. Par ailleurs, les protocoles expérimentaux ont été en partie conditionnés par les possibilités offertes par le logiciel en développement. Ces contraintes ont limité la flexibilité dans la conception des études et ont restreint le champ des possibles concernant les hypothèses testées, les supports à utiliser ou les conditions expérimentales que nous souhaitions comparer.

Malgré ces limites, cette première étape de développement pose les bases d'une intégration plus avancée et plus intelligente du numérique dans l'apprentissage par le dessin. Les évolutions du système du projet SKETCH ouvrent désormais des perspectives pour dépasser ces contraintes et proposer des environnements d'apprentissage plus personnalisés et adaptés aux besoins réels des apprenant·es et enseignant·es.

4. Perspectives : vers l'intelligence artificielle pour soutenir l'apprentissage par le dessin

Une partie des résultats de cette thèse met en évidence que le dessin pourrait avoir un potentiel pédagogique mais que ce potentiel dépend de nombreux facteurs liés à la tâche, à l'environnement d'apprentissage, et aux facteurs individuels. Il apparait donc difficile d'exploiter pleinement ce potentiel dans des contextes d'enseignements traditionnels. Ainsi, les résultats obtenus, combinés aux limites méthodologiques observées, montrent que la pertinence de développer des environnements numériques enrichis par l'IA pour dépasser les contraintes des dispositifs expérimentaux classiques et offrir aux apprenant·es des

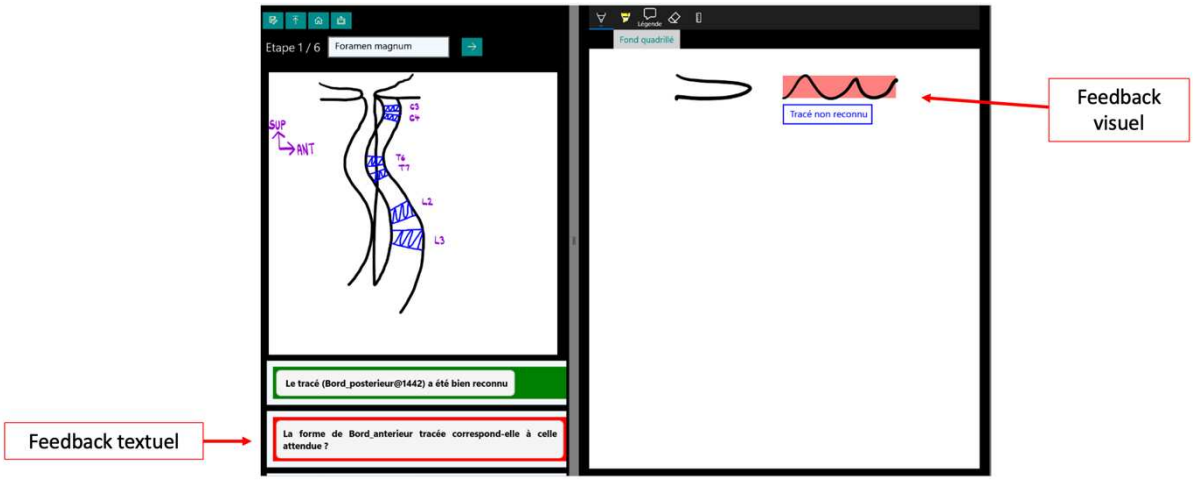
expériences d'apprentissage plus riches, plus flexibles et mieux adaptées à leurs besoins. Ces développements ouvrent la voie à une nouvelle génération d'outils pédagogiques, capables non seulement d'évaluer et de soutenir l'activité de dessin, mais aussi d'en révéler tout le potentiel pour l'enseignement de l'anatomie.

L'usage de l'intelligence artificielle tel qu'engagé dans le projet SKETCH semble se montrer particulièrement pertinent dans ce contexte. En effet, comme énoncé en première partie, un des objectifs du projet SKETCH était de concevoir un environnement d'apprentissage numérique capable d'accompagner les apprenant·es dans l'activité de dessin, en reconnaissant leurs tracés, en les interprétant et en leur fournissant des aides et feedbacks adaptés et pertinents, tout au long du processus d'apprentissage. Les données recueillies dans cette thèse ont joué un rôle dans l'avancement du projet. Elles ont alimenté et orienté les travaux d'une thèse en informatique dédiée à la conception du moteur de reconnaissance et du système de feedback du tuteur intelligent. Les dessins produits par les participant·es à nos études, les nombreux échanges menées avec les formateur·rices des instituts de formation en santé, ainsi que l'analyse de l'ensemble des données, ont permis de constituer une base empirique pour comprendre la variabilité des tracés, identifier les erreurs les plus fréquentes et entrainer les modèles de reconnaissance.

C'est dans le cadre de ce travail collaboratif qu'a été développé IntuiSKETCH par l'équipe SHADOC de l'IRISA. Un article commun publié présente le système (Barchouch et al., 2025). Globalement, IntuiSKETCH intègre un système de reconnaissance capable d'interpréter en temps réel les tracés réalisés par les apprenant·es et de générer des feedbacks adaptés (voir Figure 30). Ce moteur s'appuie sur une base de connaissances, construite à la fois à partir des dessins produits par les étudiant·es pendant les études de cette thèse et également à partir

des croquis et des précieux échanges que nous avons eu avec les formateur·rices des instituts de formation en santé (IFPEK et IFPS). Lorsqu'un·e apprenant·e dessine pendant l'apprentissage, son tracé est analysé et comparé au modèle expert de l'enseignant·e par le système. Si une erreur majeure est détectée, le système produit un feedback immédiat. Si l'erreur est mineure, le système génère un feedback différé, ce qui permet de ne pas interrompre inutilement l'activité de dessin et de préserver la fluidité de l'apprentissage.

Figure 30.
Capture d'écran de l'interface apprenant d'IntuiSKETCH avec feedbacks.



Il est important de rappeler que le développement de ce système s'est déroulé dans la dernière phase du projet SKETCH, et faisait suite aux travaux menés dans cette thèse. Néanmoins les premiers travaux d'évaluation du système ont déjà été engagés. Une étude a été réalisée auprès d'étudiant·es en deuxième année de kinésithérapie pour soutenir l'apprentissage du cours sur les ligaments longitudinaux du rachis (présenté dans cette thèse, voir Annexe A). D'autres études complémentaires viendront approfondir l'analyse de son efficacité pédagogique et de son intégration dans les pratiques d'enseignement.

Ainsi, l'environnement IntuiSKETCH concrétise les apports empiriques de cette thèse en offrant une solution numérique et innovante capable de soutenir l'apprentissage par le dessin grâce à des techniques d'intelligence artificielle. Elle offre notamment de nouvelles perspectives pour l'enseignement de l'anatomie.

5. Conclusion

Les travaux présentés dans cette thèse montrent que le dessin constitue une stratégie d'apprentissage dont les effets sur l'acquisition des connaissances anatomiques restent contrastés et dépendent des conditions dans lesquelles elle est mise en œuvre. Globalement, nos études confirment que le dessin bénéficie principalement à l'acquisition des connaissances visuospatiales et peut servir de support d'autorégulation de l'apprentissage (rapport à la perception de l'auto-évaluation). Toutefois, le dessin ne semble être bénéfique que pour les informations visuospatiales, mais pas pour les informations verbales. Ainsi, l'orientation de l'attention sur une partie des informations apparait insuffisante pour soutenir l'apprentissage et la compréhension du contenu dans son ensemble.

Par ailleurs, les résultats positifs sont principalement observés sur des tests sensibles à l'évaluation des composantes visuospatiales de l'apprentissage. Un autre constat concerne la distinction entre les différents types d'activité de dessin. La recopie favorise l'élaboration de dessin de bonne qualité, mais son effet sur les performances d'apprentissage est limité. Cette modalité semble solliciter que faiblement les processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration, et conduit à un traitement focalisé sur les éléments visuels nécessaire au dessin au détriment des informations textuelles et nécessaires à la compréhension. Le dessin

de mémoire quant à lui peut engager un effort de récupération bénéfique à la mémorisation des connaissances anatomiques mais uniquement lorsque le contenu est purement anatomique dans nos travaux.

Nous mettons en avant le rôle central des capacités spatiales dans l'efficacité de la stratégie de dessin. La stratégie semble être plus favorable aux apprenant·es ayant de hautes capacités spatiales.

Enfin, un résultat transversal concerne la perception positive qu'ont les apprenant·es concernant l'usage du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie. Quel que soit le type de dessin ou le contexte expérimental, les apprenant·es considèrent le dessin comme utile, engageant et adapté à leur formation.

Dans l'ensemble, les résultats de cette thèse montrent que le dessin ne constitue pas une stratégie totalement efficace pour l'apprentissage de l'anatomie. Ses bénéfices apparaissent dépendants de la nature des connaissances ciblées, du type de tâche, du support proposé, des capacités individuelles et des modalités d'évaluation. Ces conclusions invitent à envisager le dessin non comme une stratégie unique, mais comme une stratégie complémentaire, pouvant être mobilisée de manière ciblée pour répondre à des objectifs pédagogiques précis de l'anatomie.

Bibliographie

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, *333*(6046), 1096-1097.

Ainsworth, S., & Th Loizou, A. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive science*, *27*(4), 669-681.

Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial–verbal and analytic–holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology*, *73*(3), 358.

Alsaid, B. (2016). Slide shows vs graphic tablet live drawing for anatomy teaching. *Morphologie*, *100*(331), 210-215. https://doi.org/10.1016/j.morpho.2016.05.003

Alsaid, B., & Bertrand, M. (2016). Students' memorization of anatomy, influence of drawing. *Morphologie*, *100*(328), 2-6. https://doi.org/10.1016/j.morpho.2015.11.001

Azer, S. A. (2011). Learning surface anatomy : Which learning approach is effective in an integrated PBL curriculum?. *Medical Teacher*, *33*(1), 78-80. https://doi.org/10.3109/0142159X.2011.530704

Backhouse, M., Fitzpatrick, M., Hutchinson, J., Thandi, C. S., & Keenan, I. D. (2017). Improvements in anatomy knowledge when utilizing a novel cyclical "Observe-Reflect-Draw-Edit-Repeat" learning process. *Anatomical Sciences Education*, *10*(1), 7-22. https://doi.org/10.1002/ase.1616

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, *8*(4), 485.

Barchouch, I., Girard, N., Anquetil, E., Leconte, L., & Jamet, E. (2025, June). Improving Feedback Generation in a Drawing-Based ITS. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 259-269). Cham: Springer Nature Switzerland.

Berney, S., & Bétrancourt, M. (2017). Learning Three-Dimensional Anatomical Structures with Animation : Effect of Orientation References and Learners' Spatial Ability. In *Learning from Dynamic Visualization : Innovations in Research and Application*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56204-9_12

Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way : Creating desirable difficulties to enhance learning. *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society*, *2*(59-68).

Bjork, E. L., Little, J. L., & Storm, B. C. (2014). Multiple-choice testing as a desirable difficulty in the classroom. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *3*(3), 165-170. https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2014.03.002

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

Bobek, E., & Tversky, B. (2016). Creating visual explanations improves learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *1*(1), 27. https://doi.org/10.1186/s41235-016-0031-6

Bonfils, P., & Chevallier, J.-M. (2017). *Anatomie* (4e éd). Lavoisier médecine sciences.

Borrelli, M., Leung, B., Morgan, M., Saxena, S., & Hunter, A. (2018). Should drawing be incorporated into the teaching of anatomy?. *Journal of Contemporary Medical Education*, 1. https://doi.org/10.5455/jcme.20180411105347

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

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 293-332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2

Chaudhuri, J. D. (2021). Changes in the learning styles and approaches of students following incorporation of drawing during cadaveric dissection. *Clinical Anatomy*, *34*(3), 437-450. https://doi.org/10.1002/ca.23673

Cheng, L., & Beal, C. R. (2020). Effects of student-generated drawing and imagination on science text reading in a computer-based learning environment. *Educational Technology Research and Development*, *68*(1), 225-247. https://doi.org/10.1007/s11423-019-09684-1

Chevallier, J.-M. (2016). *Anatomie* (2e éd). Lavoisier médecine sciences.

Ciampa, K. (2014). Learning in a mobile age : An investigation of student motivation. *Journal of Computer Assisted Learning*, *30*(1), 82-96. https://doi.org/10.1111/jcal.12036

Colliot, T., & Jamet, É. (2020). Effects of self-generated graphic organizers on learning depend on in-task guidance. *Journal of Computer Assisted Learning*, *36*(5), 646-655. https://doi.org/10.1111/jcal.12434

Cromley, J. G., Du, Y., & Dane, A. P. (2020). Drawing-to-Learn : Does Meta-Analysis Show Differences Between Technology-Based Drawing and Paper-and-Pencil Drawing? *Journal of Science Education and Technology*, *29*(2), 216-229. https://doi.org/10.1007/s10956-019-09807-6

Cumming, T. M., Strnadová, I., & Singh, S. (2014). iPads as instructional tools to enhance learning opportunities for students with developmental disabilities : An action research project. *Action Research*, *12*(2), 151-176.

Delmas, V. (2024). En 2024, la dissection anatomique reste plus que jamais nécessaire en médecine. *Kinésithérapie, la Revue*, *24*(275), 13-18.

Drake, R. L., Vogl, A. W., Mitchell, A., Duparc, F., & Duparc, J. (2025). *Gray's Anatomie-Le Manuel pour les étudiants*. Elsevier Health Sciences.

Dufour, M. (2023). *Apprendre et comprendre l'anatomie-Tome 0 : Appareil locomoteur*. Elsevier Health Sciences.

Dündar, H., & Akçayır, M. (2012). Tablet vs. Paper : The effect on learners' reading performance. *International Electronic Journal of Elementary Education*, *4*(3), 441-450.

Dunlosky, J. (2013). Strengthening the student toolbox : Study strategies to boost learning. *American Educator*, *37*(3), 12-21.

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.

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.

Eidman, L., & Fiorella, L. (2024). Why don't students draw when learning from science texts?. *Frontiers in Education*, *9*, 1365202. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1365202

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

Ekstrom, R. B., & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests, 1976*. Educational testing service.

Estai, M., & Bunt, S. (2016). Best teaching practices in anatomy education : A critical review. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, *208*, 151-157. https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.02.010

Fiorella, L., Jaeger, A. J., Capobianco, A., & Burnett, A. (2024). “My drawing is quite different!” Drawbacks of comparing generative drawings to instructional visuals. *Contemporary Educational Psychology*, *77*, 102277. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2024.102277

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

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a Generative Activity : Eight Learning Strategies that Promote Understanding*. Cambridge University Press; Cambridge Core. https://doi.org/10.1017/CBO9781107707085

Fiorella, L., & Zhang, Q. (2018). Drawing Boundary Conditions for Learning by Drawing. *Educational Psychology Review*, *30*(3), 1115-1137. https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8

Furió, D., Juan, M. -C., Seguí, I., & Vivó, R. (2015). Mobile learning vs. traditional classroom lessons : A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*, *31*(3), 189-201. https://doi.org/10.1111/jcal.12071

Fy, A. (2017). Drawings as learning aid for the human anatomy students’ based evaluation. *Journal of Oral Health and Craniofacial Science*, *2*(4), 090-095. https://doi.org/10.29328/journal.johcs.1001017

Gasparini, A. A., & Culén, A. L. (2012, January). Tablet PCs–An assistive technology for students with reading difficulties. In *ACHI 2012: The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions* (pp. 28-34).

Gheysens, K., Lebeau, R., & Glendinning, D. (2017). Teaching Spinal Cord Neuroanatomy through Drawing : An Interactive, Step-Wise Module. *MedEdPORTAL*, 10592. https://doi.org/10.15766/mep_2374-8265.10592

Goodwin, K. (2012). Use of tablet technology in the classroom. *NSW Department of Education and Communities*, 6-93.

Gross, M. M., Wright, M. C., & Anderson, O. S. (2017). Effects of image-based and text-based active learning exercises on student examination performance in a musculoskeletal anatomy course. *Anatomical Sciences Education*, *10*(5), 444-455. https://doi.org/10.1002/ase.1684

Hall, V. C., Bailey, J., & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words?. *Journal of educational psychology*, *89*(4), 677.

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.

Haßler, B., Major, L., & Hennessy, S. (2016). Tablet use in schools : A critical review of the evidence for learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, *32*(2), 139-156. https://doi.org/10.1111/jcal.12123

Hellenbrand, J., Mayer, R. E., Opfermann, M., Schmeck, A., & Leutner, D. (2019). How generative drawing affects the learning process : An eye-tracking analysis. *Applied Cognitive Psychology*, *33*(6), 1147-1164. https://doi.org/10.1002/acp.3559

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, *41*(2), 111-127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4

Jamet, E., & Michinov, E. (2022). Effects of verbal and visual support on learning by tablet-based drawing. *Computers & Education*, *181*, 104460. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104460

Joewono, M., Karmaya, I. N. M., Wirata, G., Yuliana, Widianti, I. G. A., & Wardana, I. N. G. (2018). Drawing method can improve musculoskeletal anatomy comprehension in

medical faculty student. *Anatomy & Cell Biology*, *51*(1), 14. https://doi.org/10.5115/acb.2018.51.1.14

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1997. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997

Kollmer, J., Schleinschok, K., Scheiter, K., & Eitel, A. (2020). Is drawing after learning effective for metacognitive monitoring only when supported by spatial scaffolds?. *Instructional Science*, *48*(5), 569-589. https://doi.org/10.1007/s11251-020-09521-6

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. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.05.001

Kotzé, S. H., Mole, C. G., & Greyling, L. M. (2012). The translucent cadaver : An evaluation of the use of full body digital x-ray images and drawings in surface anatomy education. *Anatomical Sciences Education*, *5*(5), 287-294. https://doi.org/10.1002/ase.1277

Kumar, D., & Rajprasath, R. (2019). Drawing skills in anatomy education and the millennial learner : A cognitive and metacognitive viewpoint. *Research and Development in Medical Education*, *8*(1), 58-60. https://doi.org/10.15171/rdme.2019.010

Laakkonen, J. (2021). Drawing in Veterinary Anatomy Education : What Do Students Use It For?. *Anatomical Sciences Education*, *14*(6), 799-807. https://doi.org/10.1002/ase.2030

Lai, C. -H., Yang, J. -C., Chen, F. -C., Ho, C. -W., & Chan, T. -W. (2007). Affordances of mobile technologies for experiential learning : The interplay of technology and pedagogical practices. *Journal of Computer Assisted Learning*, *23*(4), 326-337. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00237.x

Langlois, J., Bellemare, C., Toulouse, J., & Wells, G. A. (2017). Spatial abilities and anatomy knowledge assessment : A systematic review. *Anatomical Sciences Education*, *10*(3), 235-241. https://doi.org/10.1002/ase.1655

Lawson, A. P., & Mayer, R. E. (2024). Generative learning activities for online multimedia learning : When summarizing is effective but drawing is not. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1452385. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1452385

Lei, H., Chen, L., Chiu, M. M., Fang, L., & Ding, Y. (2025). Effects of Adding Illustrations to Texts on Students' Science Achievement : A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, *37*(3), 71. https://doi.org/10.1007/s10648-025-10053-z

Leopold, C., & Leutner, D. (2012). Science text comprehension : Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, *22*(1), 16-26. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.05.005

Leopold, C., Mayer, R. E., & Dutke, S. (2019). The power of imagination and perspective in learning from science text. *Journal of Educational Psychology*, *111*(5), 793.

Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension : Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, *25*(2), 284-289. https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.010

Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). The Generative Drawing Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2e éd., p. 433-448). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.022

Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S., & Wu, H. (2017). The Effect of Learner-Generated Drawing and Imagination in Comprehending a Science Text. *The Journal of*

Experimental Education, *85*(1), 142-154. https://doi.org/10.1080/00220973.2016.1143796

Lombard, J., Bråten, I., Van De Leemput, C., & Amadieu, F. (2021). Performance and acceptance when using tablets as a multiple document learning tool : Do application and guidance matter? *Instructional Science*, *49*(2), 197-221. https://doi.org/10.1007/s11251-021-09537-6

Mason, L., Lowe, R., & Tornatora, M. C. (2013). Self-generated drawings for supporting comprehension of a complex animation. *Contemporary Educational Psychology*, *38*(3), 211-224. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.04.001

Mathon, B., Chougar, L., Carpentier, A., & Amelot, A. (2021). Teaching brain imaging through a drawing method may improve learning in medical students. *European Radiology*, *31*(6), 4195-4202. https://doi.org/10.1007/s00330-020-07484-3

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. https://doi.org/10.1007/BF01463939

Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, *41*(1), 31-48.

Mayer, R. E. (2009). The multimedia principle. *Multimedia learning*, 223-241.

Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2e éd., p. 43-71). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005

McClanahan, B., Williams, K., Kennedy, E., & Tate, S. (2012). A breakthrough for Josh : How use of an iPad facilitated reading improvement. *TechTrends*, *56*(3), 20-28.

Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments : Special issue on interactive learning environments : Contemporary issues and trends. *Educational psychology review*, *19*(3), 309-326.

Narayanan, S., & Shankar, N. (2021). Comparison of Illustrative Handouts and Self-Drawing on Learning Outcomes from Anatomy Lectures. *National Journal of Clinical Anatomy*, *10*(4), 209-213. https://doi.org/10.4103/NJCA.NJCA_38_21

Naug, H. L., Colson, N. J., & Donner, D. (2016). Experiential Learning, Spatial Visualization and Metacognition : An Exercise with the “Blank Page” Technique for Learning Anatomy. *Health Professions Education*, *2*(1), 51-57. https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.01.001

Naug, H. L., Colson, N. J., & Donner, D. G. (2011). Promoting metacognition in first year anatomy laboratories using plasticine modeling and drawing activities : A pilot study of the “Blank Page” technique. *Anatomical Sciences Education*, *4*(4), 231-234. https://doi.org/10.1002/ase.228

Noorafshan, A., Hoseini, L., Amini, M., Dehghani, M.-R., Kojuri, J., & Bazrafkan, L. (2014). Simultaneous anatomical sketching as learning by doing method of teaching human anatomy. *Journal of Education and Health Promotion*, *3*(1), 50. https://doi.org/10.4103/2277-9531.131940

Paivio, A. (1990). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford university press.

Peart, D. J. (2022). Hand drawing as a tool to facilitate understanding in undergraduate human biology : A critical review of the literature and future perspectives. *Studies in Science Education*, *58*(1), 81-93. https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1913321

Pickering, J. D. (2015). Anatomy drawing screencasts : Enabling flexible learning for medical students. *Anatomical Sciences Education*, *8*(3), 249-257. https://doi.org/10.1002/ase.1480

Pickering, J. D., & Swinnerton, B. J. (2019). Exploring the Dimensions of Medical Student Engagement with Technology-Enhanced Learning Resources and Assessing the Impact on Assessment Outcomes. *Anatomical Sciences Education*, *12*(2), 117-128. https://doi.org/10.1002/ase.1810

Ploetzner, R., Berney, S., & Bétrancourt, M. (2021). When learning from animations is more successful than learning from static pictures : Learning the specifics of change. *Instructional Science*, *49*(4), 497-514. https://doi.org/10.1007/s11251-021-09541-w

Ploetzner, R., & Fillisch, B. (2017). Not the silver bullet : Learner-generated drawings make it difficult to understand broader spatiotemporal structures in complex animations. *Learning and Instruction*, *47*, 13-24. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.10.002

Poupard, M., Larrue, F., Bertrand, M., Liguoro, D., Tricot, A., & Sauzéon, H. (2025). Using virtual reality for enhancing neuroanatomy learning by optimizing cognitive load and intrinsic motivation. *Computers & Education*, 105332.

Reid, S., Shapiro, L., & Louw, G. (2019). How Haptics and Drawing Enhance the Learning of Anatomy. *Anatomical Sciences Education*, *12*(2), 164-172. https://doi.org/10.1002/ase.1807

Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying Visual Displays : How to Instructionally Support Learning. *Educational Psychology Review*, *29*(3), 599-621. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9340-4

Ritchie, H. E., Oakes, D., Drury, H., Ollerenshaw, S., & Hegedus, E. (2023). Can drawing instruction help students with low visuospatial ability in learning anatomy?. *Anatomical Sciences Education*, *16*(2), 252-265. https://doi.org/10.1002/ase.2230

Roach, V. A., Mi, M., Mussell, J., Van Nuland, S. E., Lufler, R. S., DeVeau, K. M., Dunham, S. M., Husmann, P., Herriott, H. L., Edwards, D. N., Doubleday, A. F., Wilson, B. M., & Wilson, A. B. (2021). Correlating Spatial Ability With Anatomy Assessment Performance : A Meta-Analysis. *Anatomical Sciences Education*, *14*(3), 317-329. https://doi.org/10.1002/ase.2029

Rochat, J., Jamet, É., & Michinov, E. (2022). Learning by tablet-based drawing : Effects of verbal support among secondary-school students. *L'Année Psychologique*, *Vol. 122*(3), 513-536. https://doi.org/10.3917/anpsy1.223.0513

Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). The Power of Testing Memory : Basic Research and Implications for Educational Practice. *Perspectives on Psychological Science*, *1*(3), 181-210. https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x

Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2011). Situational interest and academic achievement in the active-learning classroom. *Learning and Instruction*, *21*(1), 58-67. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.11.001

Scheiter, K., Schleinschok, K., & Ainsworth, S. (2017). Why Sketching May Aid Learning From Science Texts : Contrasting Sketching With Written Explanations. *Topics in Cognitive Science*, *9*(4), 866-882. https://doi.org/10.1111/tops.12261

Scheiter, K., Schüler, A., & Eitel, A. (2017). Learning from multimedia: Cognitive processes and instructional support. In *The psychology of digital learning: Constructing, exchanging, and acquiring knowledge with digital media* (pp. 1-19). Cham: Springer International Publishing.

Schleinschok, K., Eitel, A., & Scheiter, K. (2017). Do drawing tasks improve monitoring and control during learning from text?. *Learning and Instruction*, *51*, 10-25. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.02.002

Schmeck, A., Mayer, R. E., Opfermann, M., Pfeiffer, V., & Leutner, D. (2014). Drawing pictures during learning from scientific text : Testing the generative drawing effect and the prognostic drawing effect. *Contemporary Educational Psychology*, *39*(4), 275-286. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.07.003

Schmidgall, S. P., Eitel, A., & Scheiter, K. (2019). Why do learners who draw perform well? Investigating the role of visualization, generation and externalization in learner-generated drawing. *Learning and Instruction*, *60*, 138-153. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.006

Schmidgall, S. P., Scheiter, K., & Eitel, A. (2020). Can we further improve tablet-based drawing to enhance learning?. An empirical test of two types of support. *Instructional Science*, *48*(4), 453-474. https://doi.org/10.1007/s11251-020-09513-6

Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, *49*(2005), 69.

Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, *13*(2), 141-156. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8

Schwamborn, A., Mayer, R. E., Thillmann, H., Leopold, C., & Leutner, D. (2010). Drawing as a generative activity and drawing as a prognostic activity. *Journal of Educational Psychology*, *102*(4), 872-879. https://doi.org/10.1037/a0019640

Schwamborn, A., Thillmann, H., Opfermann, M., & Leutner, D. (2011). Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations.

Computers in Human Behavior, *27*(1), 89-93. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.028

Schwieren, J., Barenberg, J., & Dutke, S. (2017). The Testing Effect in the Psychology Classroom : A Meta-Analytic Perspective. *Psychology Learning & Teaching*, *16*(2), 179-196. https://doi.org/10.1177/1475725717695149

Soderstrom, N. C., & Bjork, R. A. (2015). Learning versus performance : An integrative review. *Perspectives on Psychological Science*, *10*(2), 176-199.

Stull, A. T., Gainer, M. J., & Hegarty, M. (2018). Learning by enacting : The role of embodiment in chemistry education. *Learning and Instruction*, *55*, 80-92.

Styn, A., Scheiter, K., Fischer, M. R., Shiozawa, T., Behrmann, F., Steffan, A., Kugelmann, D., & Berndt, M. (2023). Effects of tablet-based drawing and paper-based methods on medical students' learning of gross anatomy. *Anatomical Sciences Education*, *16*(2), 266-279. https://doi.org/10.1002/ase.2237

Sweeney, K., Hayes, J. A., & Chiavaroli, N. (2014). Does spatial ability help the learning of anatomy in a biomedical science course?. *Anatomical Sciences Education*, *7*(4), 289-294. https://doi.org/10.1002/ase.1418

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving : Effects on learning. *Cognitive science*, *12*(2), 257-285.

Sweller, J., Van Merrienboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, *10*(3), 251-296.

Thiede, K., L. Wright, K., Hagenah, S., & Wenner, J. (2019). Drawings as Diagnostic Cues for Metacomprehension Judgment. In N. Feza (Éd.), *Metacognition in Learning*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.86959

Tordet, C., Cazes, M., Leconte, L., Rougeot, C., & Jamet, E. (2025). Validation of a French version of the subjective cognitive load scale among college students. *Psychologie Française*.

Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Spatial Thinking and STEM Education. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 57, p. 147-181). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2

Van De Pol, J., Van Loon, M., Van Gog, T., Braumann, S., & De Bruin, A. (2020). Mapping and Drawing to Improve Students' and Teachers' Monitoring and Regulation of Students' Learning from Text : Current Findings and Future Directions. *Educational Psychology Review*, *32*(4), 951-977. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09560-y

Van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, *93*(1), 129-140. https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.129

Van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, *31*(2), 142-166. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.04.001

Van Meter, P., & Firetto, C. (2013). Cognitive model of drawing construction. *Learning through visual displays*, 247-280.

Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The Promise and Practice of Learner-Generated Drawing : Literature Review and Synthesis. *Educational Psychology Review*, *17*(4), 285-325. https://doi.org/10.1007/s10648-005-8136-3

Winnie, P., & Hadwin, A. (1998). Studying as self-regulated learning. *Metacognition in educational theory and practice*, 277-304.

Wittrock, M. C. (1989). Generative Processes of Comprehension. *Educational Psychologist*, *24*(4), 345-376. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2404_2

Zhang, Q., & Fiorella, L. (2019). Role of generated and provided visuals in supporting learning from scientific text. *Contemporary Educational Psychology*, *59*, 101808. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101808

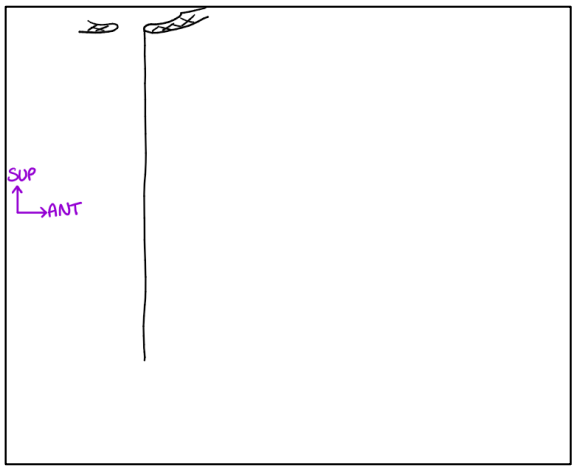
Zhang, Q., & Fiorella, L. (2021). Learning by drawing : When is it worth the time and effort?. *Contemporary Educational Psychology*, *66*, 101990. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101990

Zhang, Y., Xu, K., Pan, Y., Pi, Z., & Yang, J. (2023). The effects of segmentation design and drawing on video learning : A mediation analysis. *Active Learning in Higher Education*, 14697874231180601. https://doi.org/10.1177/14697874231180601

Annexes

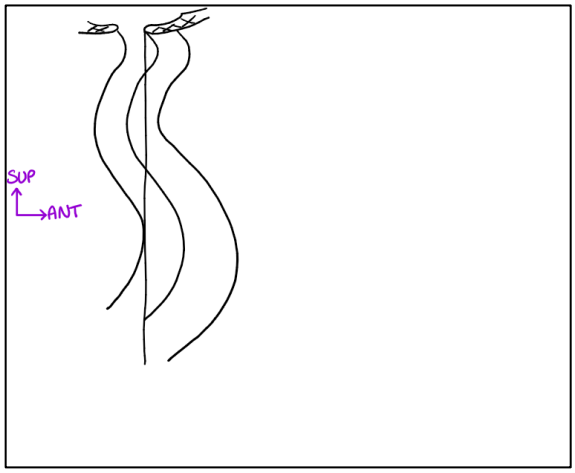
A. Cours sur les ligaments longitudinaux du rachis

- **Étape 1 : Foramen magnum**



Plan sagittal du rachis : l'antérieur se situe à droite, le supérieur vers le haut.
L'extrémité de l'occiput et les pourtours du foramen magnum sont d'abord placés : le bord supérieur et le bord antérieur.
Ensuite, une verticale tracée à main levée part du bord antérieur du foramen magnum.

- **Étape 2 : Courbures rachidiennes**

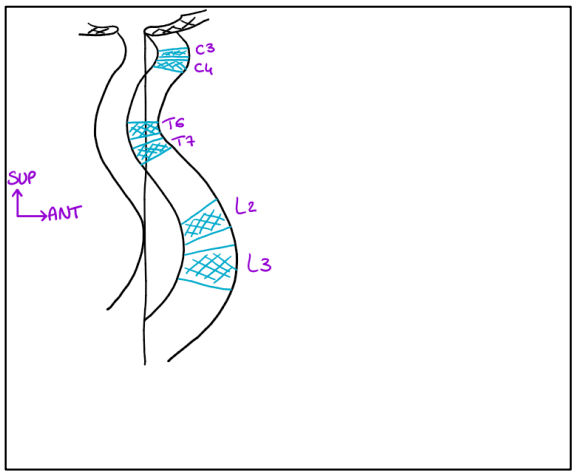


Les courbures rachidiennes :

- La première courbure est tracée autour de la verticale, en respectant le rapport de la lordose cervicale et lordose lombaire qui est de 1 pour 3 en profondeur.
- En avant de cette courbure initiale, la même courbure est tracée en se référant à la profondeur qui croit dès lors que l'on se rapproche du rachis lombaire.

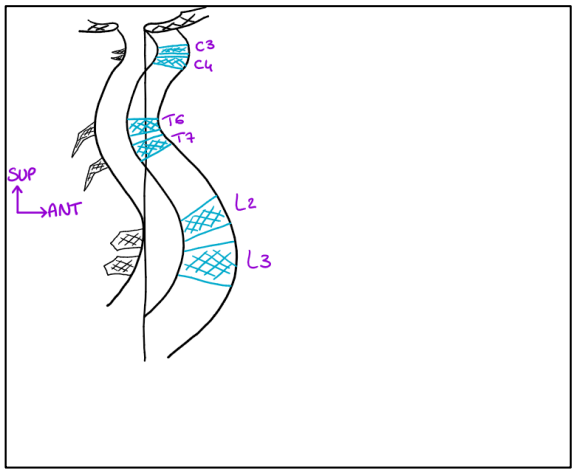
- La dernière courbure à placer part du bord postérieur du foramen magnum. Sa profondeur est constante.

- **Étape 3 : Placement des vertèbres**



Positionnement des vertèbres : il est important de respecter la hauteur et la profondeur des vertèbres et l'épaisseur du disque intervertébral qui sont de plus en plus important dès lors que l'on se rapproche du rachis lombaire.
Les vertèbres C3 et C4 se situent au niveau cervical (C3 est positionnée en sommet de courbure cervicale).
Les vertèbres T6 et T7 se situent au niveau thoracique (T6 est positionnée en sommet de courbure thoracique).
Les vertèbres L2 et L3 se situent au niveau lombaire (L3 est positionnée en sommet de courbure lombaire).

- **Étape 4 : Placement des processus épineux**

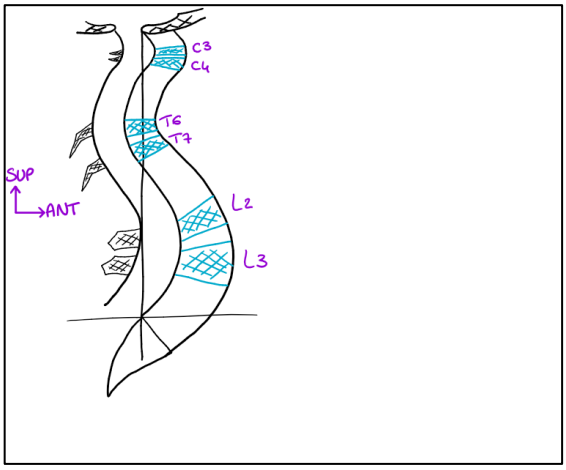


Positionnement des processus épineux :

- Au niveau cervical, les processus épineux sont courts et légèrement orientés vers le bas et l'arrière.
- Au niveau thoracique, les processus épineux sont longs et fortement obliques vers le bas et l'arrière.
- Au niveau lombaire, les processus épineux sont trapus et quadrangulaires.

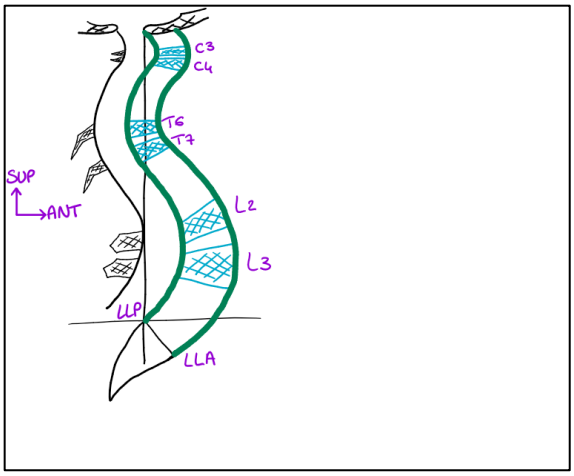
Les processus épineux sont au niveau cervical et lombaire rapprochés, alors qu'au niveau thoracique, ceux-ci sont plus éloignés.

- **Étape 5 : Sacrum**



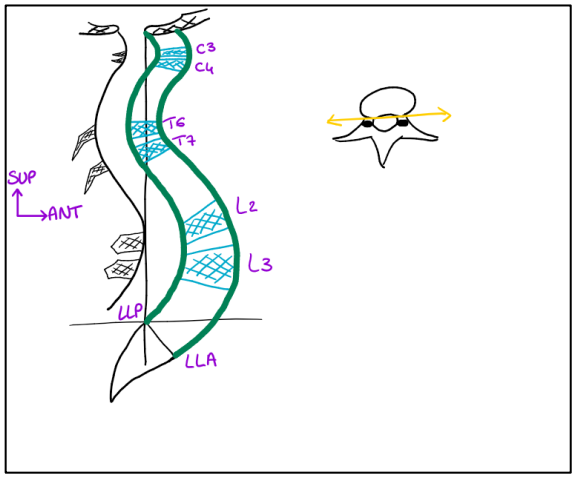
Le sacrum présente une pente sacrale oblique de 30° et 40° par rapport à l'horizontale.

- **Étape 6 : Placement des ligaments longitudinaux**



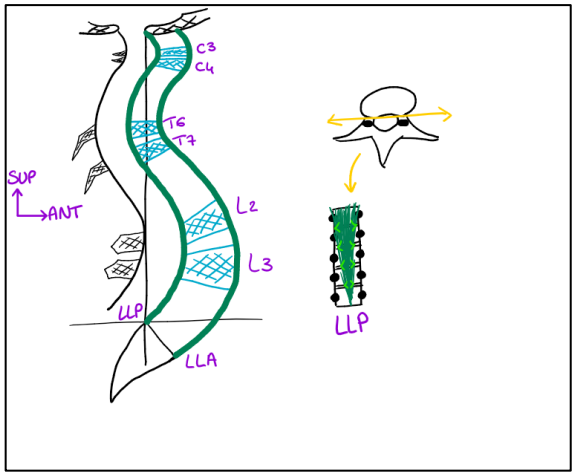
Le ligament longitudinal postérieur (LLP) s'étend du bord antérieur du foramen magnum à la face postérieure du sacrum.
Le ligament longitudinal antérieur (LLA) s'étend de la partie antérieure du foramen magnum à la face antérieure du sacrum.

- **Étape 7 : Vue frontale des ligaments longitudinaux**



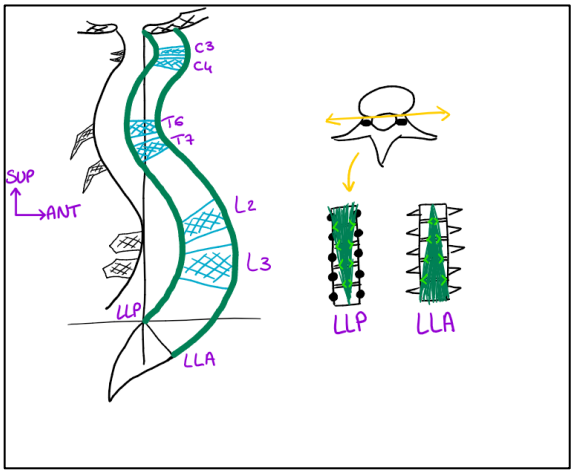
La coupe à droite est située entre le corps vertébral et les processus articulaires postérieurs des vertèbres.
C'est une coupe réalisée au niveau des pédicules.

- **Étape 8 : Vue rapprochée du LLP**



Le ligament longitudinal postérieur s'insère sur la face postérieure des corps vertébraux et des disques.
Il est formé de deux couches de fibres, une verticale et superficielle et une profonde formant des trousseaux de fibres obliques s'insérant sur le disque intervertébral.
Dans ce plan frontal, ce ligament est élargi à la partie thoracique et s'affine à la partie lombaire.

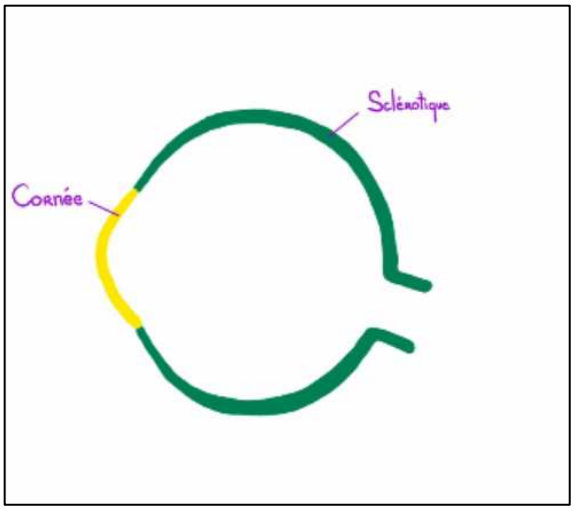
- **Étape 9 : Vue rapprochée du LLA**



Le ligament longitudinal antérieur s'insère à la face antérieure des corps vertébraux et également sur les disques.
Il est formé de deux couches de fibres, une verticale et superficielle et une profonde formant des trousseaux de fibres obliques s'insérant sur le disque intervertébral.
Il est élargi à sa partie basse et s'affine en remontant vers le rachis thoracique.

B. Cours sur l'anatomie de l'œil.

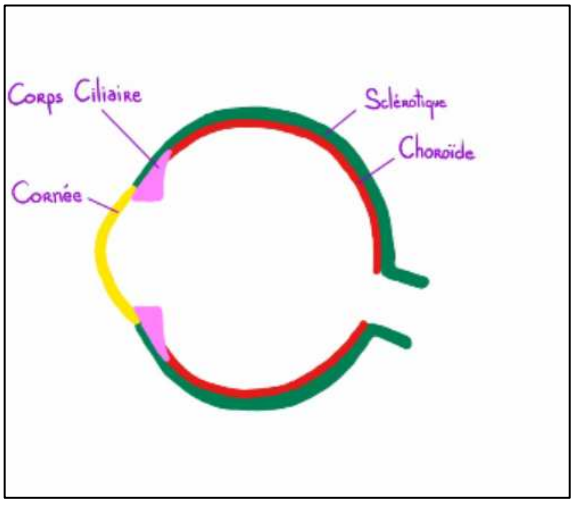
- **Étape 1 : La membrane fibreuse**



L'œil est un organe et un globe de forme sphérique présentant une partie antérieure convexe et saillante. Il est constitué par une coque extérieure formée par 3 membranes.

Premièrement, la membrane fibreuse, blanchâtre et opaque, constituée de la sclérotique (en vert), qui représente 5/6ème du globe et de la cornée (en jaune), convexe et saillante, qui représente 1/6ème du globe. Cette dernière est transparente.

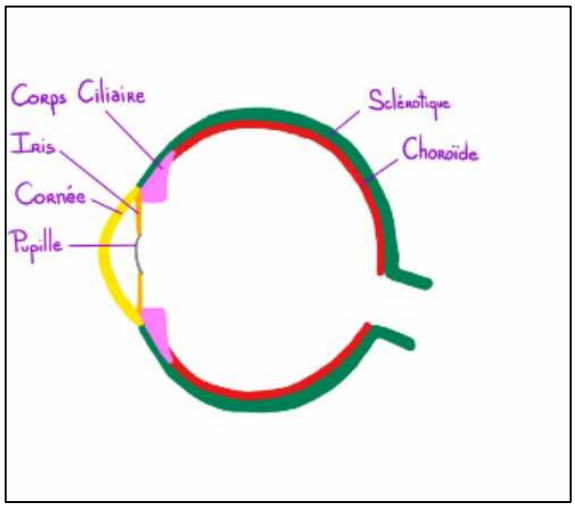
- **Étape 2 : La membrane vasculaire**



La membrane vasculaire ou UVEE est la membrane nourricière de l'œil. Elle est constituée de :

- La choroïde (en rouge) située sous la sclérotique ;
- Le corps ciliaire (en rose) situé en avant de la choroïde. C'est le muscle de l'accommodation. Il sécrète l'humeur aqueuse.

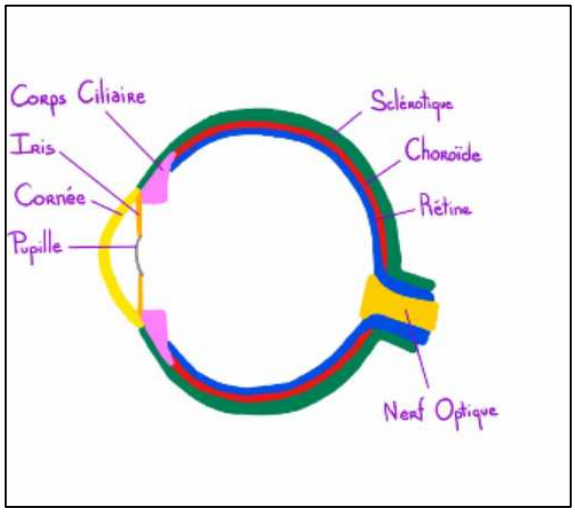
- **Étape 3 : L'iris**



L'iris (en orange), qui est également une membrane vasculaire, est situé en avant des corps ciliaires. Il est pigmenté et donne la teinte de l'œil.

L'iris sert de diaphragme : il se contracte ou se relâche afin de contrôler la quantité de lumière qui entre dans l'œil via la pupille (en gris), un trou circulaire qui se situe en son centre.

- **Étape 4 : La tunique nerveuse**

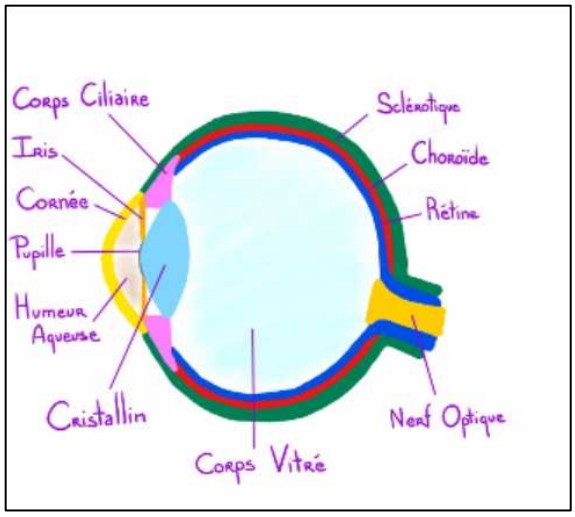


La rétine ou tunique nerveuse (en bleu foncé) est située sous la choroïde et se termine en arrière du globe oculaire. C'est la plus interne des 3 membranes.

C'est la membrane sensible à la lumière. La rétine comprend de multiples cellules appelées photorécepteurs qui permettent de capter la lumière et de la transformer en influx nerveux : ce sont les cônes (vision des couleurs) et les batônnets (vision en nuance de gris).

La rétine est la zone de départ du nerf optique (en jaune foncé). Ce dernier relie la rétine au cerveau et permet d'envoyer l'information (influx nerveux) jusqu'au cerveau.

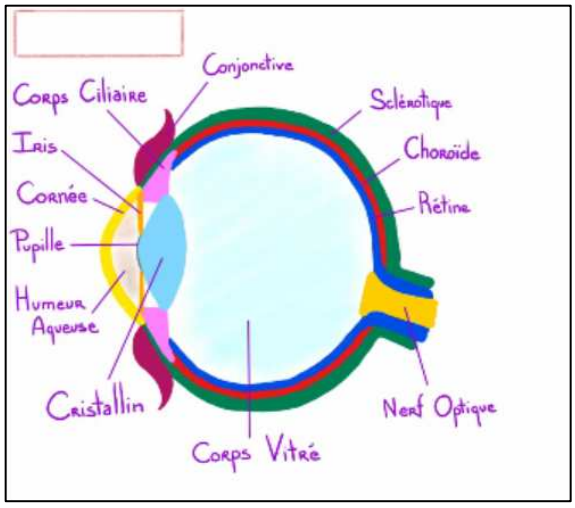
- **Étape 5 : Les milieux transparents**



L'œil est composé de trois milieux transparents :

- Le cristallin (en bleu clair) est une lentille transparente, biconvexe, située en arrière de l'iris. Le cristallin est élastique et avasculaire. Il a pour fonction de focaliser les rayons lumineux sur la rétine. Il se bombe pour assurer la vision de près et s'aplatit pour assurer la vision de loin.
- L'humeur aqueuse (en marron clair) est un liquide incolore, chimiquement proche de l'eau, compris entre la cornée et le cristallin.
- Le corps vitré (en bleu hachuré) est un gel visqueux, transparent. Il remplit le globe oculaire en arrière du cristallin.

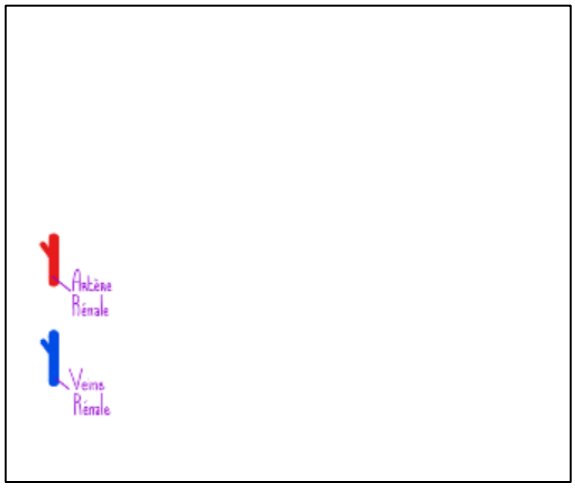
- **Étape 6 : La conjonctive**



La conjonctive (en pourpre) est une membrane et muqueuse transparente. Elle recouvre le devant de la sclérotique. Elle a un rôle de protection contre les agressions. Elle tapisse l'intérieur des paupières.

C. Cours sur le fonctionnement d'un néphron (unité fonctionnelle du rein)

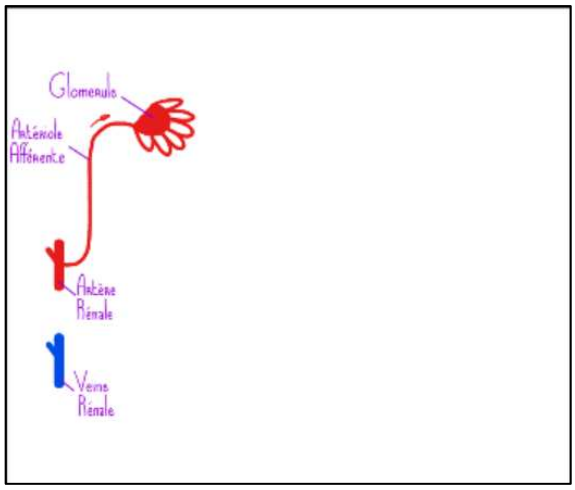
- **Étape 1 : Le rein**



Chacun des deux reins sont alimentés en sang par une artère rénale issue de l'aorte abdominale. Ce sang est évacué par une veine rénale.

Ce système va permettre la perfusion rénale consistant en une succession de 3 étapes : la filtration, la réabsorption, l'excrétion.

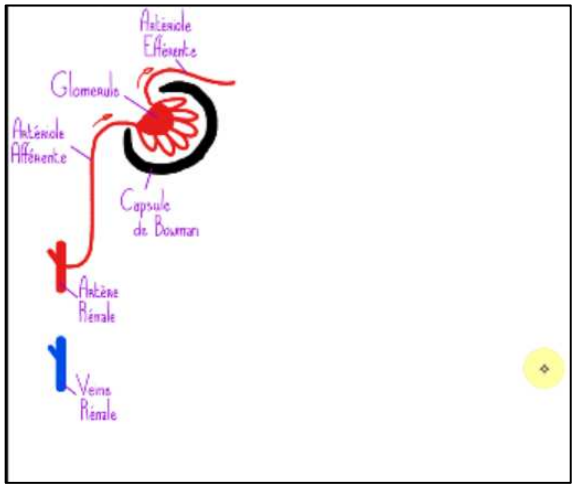
- **Étape 2 : Le glomérule**



Chaque rein comporte dans son parenchyme une unité fonctionnelle appelée « néphron ». Il y a environ 1 million de néphrons par rein. C'est à travers cette unité que s'effectuent les trois étapes citées précédemment.

La perfusion rénale est assurée par l'artère rénale qui va venir alimenter grâce à l'artériole afférent un appareil à l'entrée du néphron appelé « glomérule ».

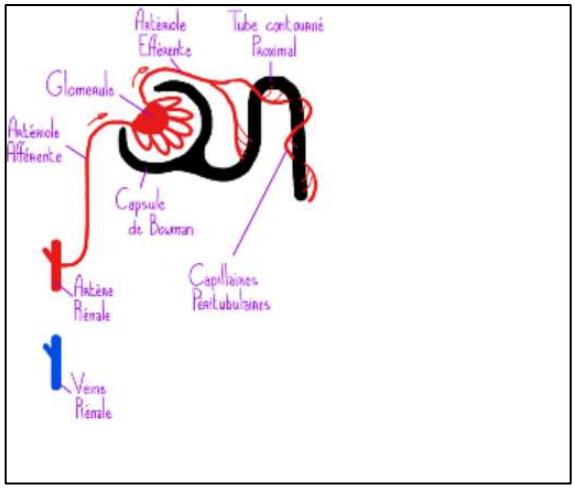
- **Étape 3 : Capsule de Bowman (filtration)**



Le glomérule est entouré par la capsule de Bowman. A l'intérieur de la capsule, le plasma sanguin est filtré (eau, sels minéraux, glucose, protéines) et des hormones sont sécrétées par des cellules endocrines spécialisées (rénine, érythropoïétine, vitamine D) pour obtenir un filtrat qui est une forme primitive de l'urine.

Puis le sang repart par l'artériole efférente.

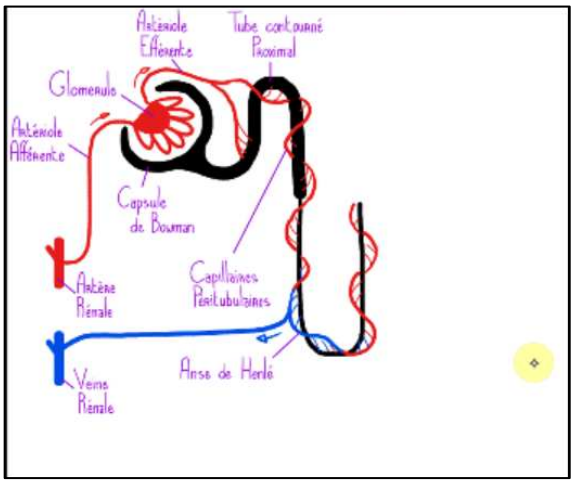
- **Étape 4 : Le tube contourné proximal (réabsorption)**



Une fois l'étape glomérulaire réalisée, l'urine primitive va circuler par différents tubules. Le sang qui poursuit son chemin par l'artériole efférente passe par un réseau de capillaires dits « péritubulaires » entourant ces tubules pour effectuer des échanges passifs ou actifs entre les tubules, les cellules et les capillaires : c'est la réabsorption.

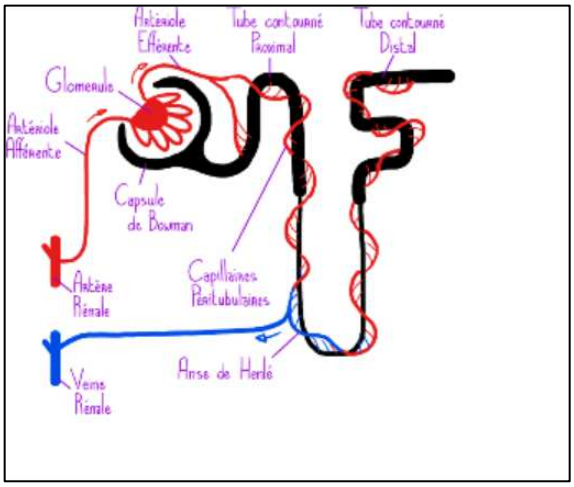
L'urine primitive passe d'abord par le tube contourné proximal où s'effectue la réabsorption des 2/3 de l'eau filtrée, de 65% du sodium, du glucose, des bicarbonates et du phosphate.

- **Étape 5 : L'anse de Henlé (réabsorption)**



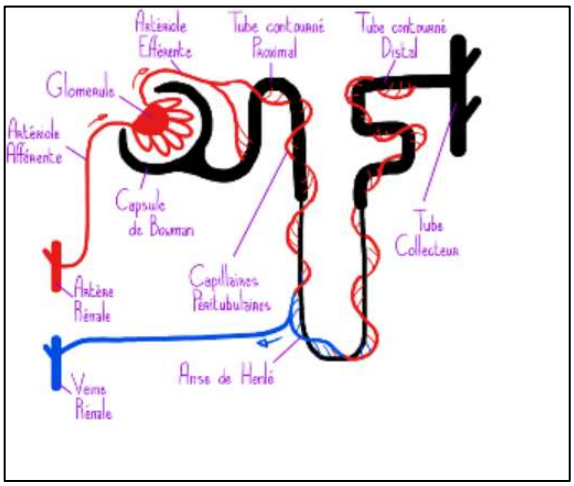
L'urine primitive passe ensuite par l'anse de Henlé où s'effectue une réabsorption active de sodium et de calcium.

- **Étape 6 : Le tube contourné distal (réabsorption)**



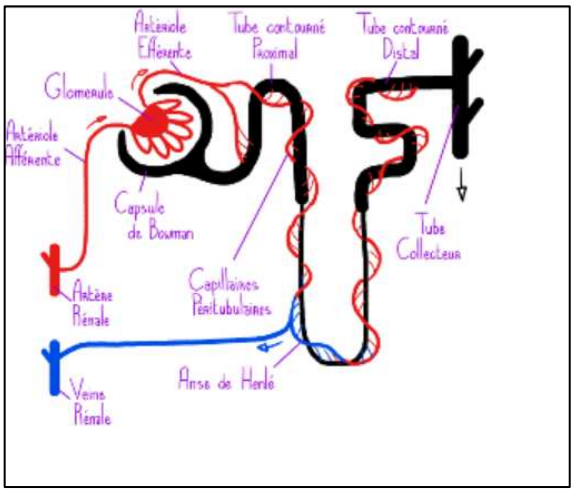
L'urine primitive circule ensuite jusqu'au tube contourné distal pour la réabsorption de sodium, de potassium et de chlore dans une moindre mesure.

- **Étape 7 : Le tube collecteur (réabsorption)**



Au niveau du tube collecteur, on observe une réabsorption de sodium ajustée par la sécrétion d'aldostérone (hormone produite par la glande surrénale), un ajustement de la concentration de l'urine sous la dépendance de l'hormone ADH (produite par la posthyphose) et ajustement de l'équilibre acido-basique pour l'excrétion des ions H+.

- **Étape 8 : L'excrétion**

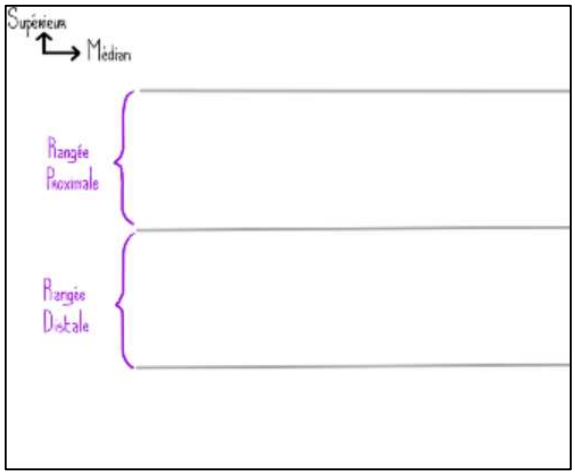


La filtration rénale permet la réabsorption de 99% du plasma filtré. 1% seulement du volume plasmatique filtré constituera l'urine définitive qui est évacuée lors de l'excrétion. De sorte que sur 170 litres d'urine primitive produite par jour, 1,5 litre d'urine finale rejetée par l'organisme.

Le rein constitue donc un organe de régulation, d'équilibre hydrique et ionique, de maintien de l'équilibre acidobasique et de production hormonale.

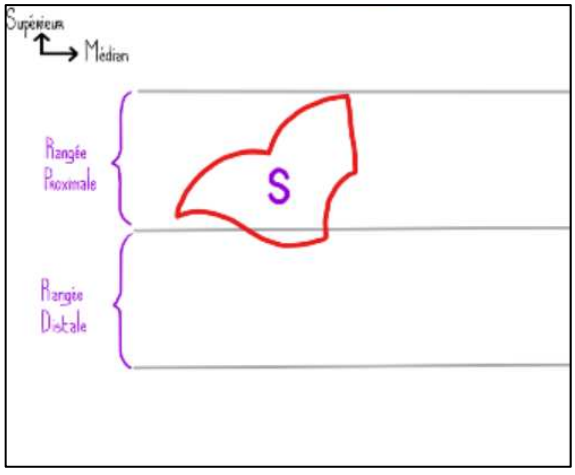
D. Cours sur l'anatomie des os du carpe

- **Étape 1 : Organisation du carpe**



Le carpe est le groupe de huit os courts du poignet compris entre d'un côté le radius et l'ulna (les os de l'avant-bras), et de l'autre les métacarpes. Ces os sont organisés en deux rangées de quatre os chacune : la rangée proximale et la rangée distale.
Le carpe est un ensemble compact et solide offrant également une grande amplitude de mouvement en formant un condyle permettant aussi bien la flexion / extension, l'abduction / adduction, et la rotation du poignet.

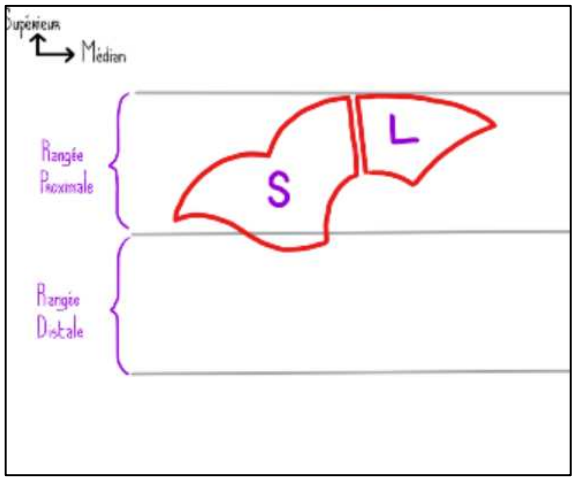
- **Étape 2 : Le scaphoïde**



Le scaphoïde est situé à une extrémité de la rangée proximale dont il est l'os le plus plat et le plus volumineux. Il pénètre légèrement la rangée distale grâce à sa forme allongée et incurvée.

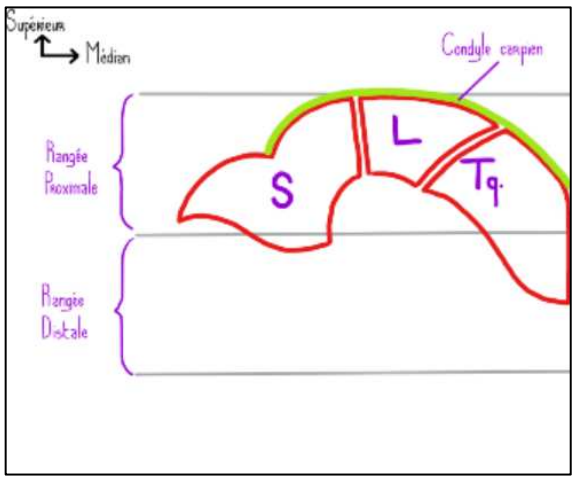
C’est aussi l’os du carpe qui casse le plus : il représente 60% à 80% des cas de fractures du poignet. En effet, en cas de chute sur la face palmaire de la main, le scaphoïde doit supporter tout le poids du corps brutalement.

- **Étape 3 : Le lunatum**



Le lunatum est l’os médian de la rangée proximale du carpe.
C’est aussi un os qui se luxe facilement, souvent en association avec la fracture du scaphoïde. Cette fragilité est liée à sa grande mobilité elle-même facilitée par un arrimage ligamentaire restreint.

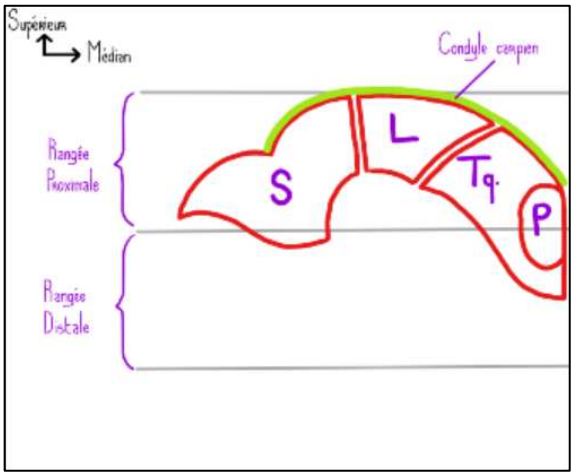
- **Étape 4 : Le triquetrum et le condyle**



Le triquetrum est situé à l’autre extrémité de la rangée proximale. Il dépasse sur la rangée distale.
Le triquetrum, le lunatum et le scaphoïde bougent de façon coordonnée grâce à des reliures ligamentaires (le scapho-lunarien et le luno-triquétral). Ensemble, leur face supérieure

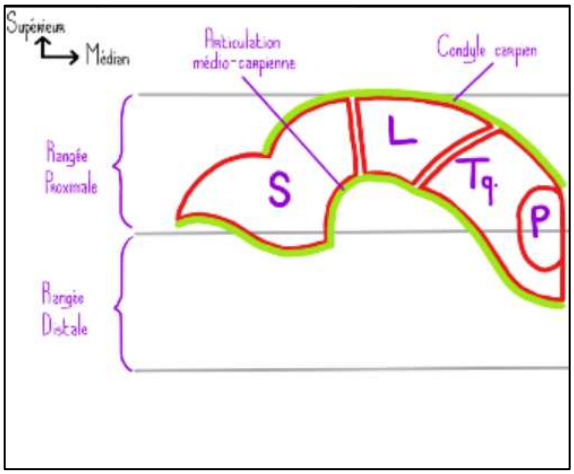
respective forme le condyle carpien qui permet un mouvement circulaire de l'articulation avec l'avant-bras.

- **Étape 5 : Le pisiforme**



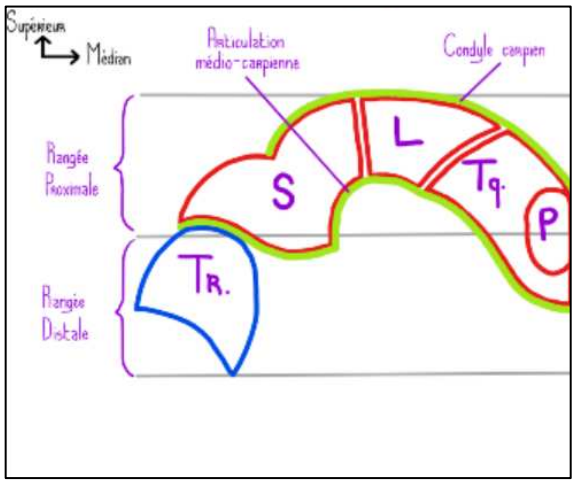
Le pisiforme est le plus petit os du carpe. Il est situé sous le triquetrum (lorsque la paume est tournée vers le bas). C'est aussi un os très mobile ressemblant à un pois, ce qui lui vaut son nom.
Sa fonction principale est de soutenir et de stabiliser le poignet.

- **Étape 6 : L'articulation médio-carpienne**



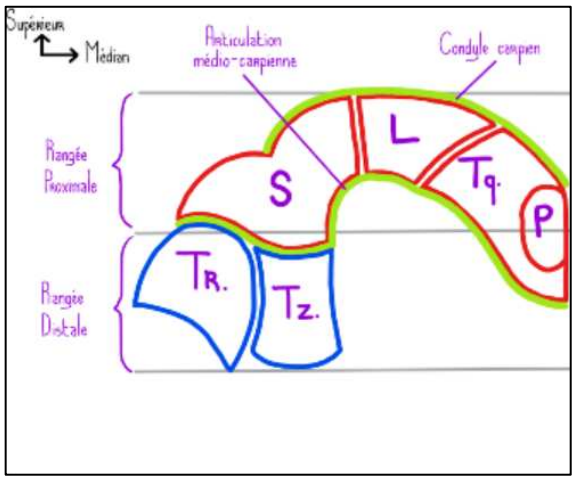
Les deux rangées du carpe, proximale et distale, sont unies par l'articulation médio-carpienne. Cette articulation participe essentiellement aux mouvements de flexion / extension et d'abduction / adduction, et légèrement dans les mouvements de rotation.

- **Étape 7 : Le trapèze**



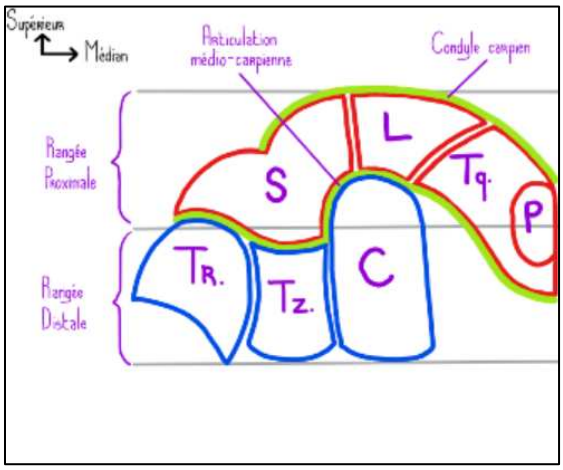
Le trapèze est situé du côté inférieur du scaphoïde, à l'extrémité de la rangée distale dont il est l'os le plus plat. C'est un os fondamental dans la biomécanique du pouce ce qui le rend sensible à l'arthrose en raison de la surutilisation de l'articulation du pouce.

- **Étape 8 : Le trapézoïde**



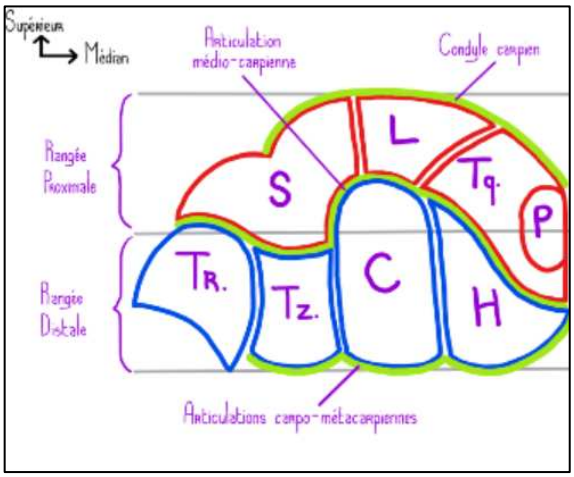
Le trapézoïde est un os de petite taille coincé entre le trapèze et la capitatum.

- **Étape 9 : Le capitatum**



Le capitatum est le plus grand os du carpe (on le surnomme parfois « grand os »). C'est aussi l'os médian de la rangée distale.
Cet os est situé au centre du carpe, il est donc bien protégé. Ainsi les fractures du poignet impliquant le capitatum représentant environ 1,3% des cas.

- **Étape 10 : L'hamatum et l'articulation carpo-métacarpienne**



L'hamatum a une forme proche de celle d'un prisme triangulaire. Il est situé à l'autre extrémité de la rangée distale, du côté inférieur du triquetrum.
Sa face inférieure, ainsi que celles du capitatum et du trapézoïde sont impliquées dans les quatre articulations carpo-métacarpiennes qui permettent le mouvement de l'auriculaire, de l'annulaire, du majeur et de l'index.

E. Attestions de conformité à l'éthique de la recherche

UNIVERSITÉ RENNES 2

ATTESTATION DE CONFORMITE A L'ETHIQUE DE LA RECHERCHE

Référence/*Ref.* : 2022-026 SKETCH2

Le Comité d'éthique de la recherche de l'université Rennes 2 a examiné le projet de recherche intitulé « SYSTEME TUTORIEL INTELLIGENT POUR L'APPRENTISSAGE PAR CROQUIS (SKETCH) : ETUDE DES EFFETS DE LA STRATEGIE DE DESSIN SUR L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE ET LA PHYSIOLOGIE » piloté par JAMET ERIC, et a jugé qu'il est conforme aux pratiques habituelles et aux règles éthiques en vigueur dans les Sciences Humaines et Sociales. Le projet respecte notamment les règles de protection des données personnelles du Règlement Général sur la Protection des Données (UE 2016/679).

DESCRIPTIF DU PROJET DE RECHERCHE

RESEARCH PROJECT DESCRIPTION

- Responsable scientifique du projet : JAMET ERIC

- Statut : Professeur

- Etablissement : Université Rennes 2

- E-mail : eric.jamet@univ-rennes2.fr ; n° portable

- Domaine disciplinaire : Psychologie

- Personnes impliquées dans le projet (nom prénom, statut, affiliation) : Laura Leconte, doctorante, Éric Anquetil, professeur en informatique, Nathalie Girard, Maîtresse de conférences en informatique, Post-doctorant en informatique : Omar Krichen, Manon Bessette, Massokinésithérapie formatrice, Guillaume Hamon, cadre formateur des professionnels de santé

- Établissement porteur du projet : Université Rennes 2

- Unité de recherche : LP3C

- Sous-domaine scientifique du projet : Psychologie

- Durée du projet : 4 ans

- Objet du projet : Conception et évaluation d'un système tutoriel intelligent pour l'apprentissage par le croquis en anatomie

- Financeur du projet : Agence nationale de la recherche. AAP 2021

UNIVERSITÉ RENNES 2

ATTESTATION DE CONFORMITE A L'ETHIQUE DE LA RECHERCHE

Référence/*Ref.* : 2022-011

Le Comité d'éthique de la recherche de l'université Rennes 2 a examiné le projet de recherche intitulé « **Système tutoriel intelligent pour l'apprentissage par croquis (SKETCH) : étude des effets des stratégies génératives sur l'apprentissage de l'anatomie »** piloté par Éric Jamet professeur à l'université Rennes 2, et a jugé qu'il est conforme aux pratiques habituelles et aux règles éthiques en vigueur dans les Sciences Humaines et Sociales. Le projet respecte notamment les règles de protection des données personnelles du Règlement Général sur la Protection des Données (UE 2016/679).

DESCRIPTIF DU PROJET DE RECHERCHE

RESEARCH PROJECT DESCRIPTION

- Responsable scientifique du projet : Éric Jamet

- Statut : Professeur des universités

- Etablissement : Université Rennes 2

- E-mail : eric.jamet@univ-rennes 2.fr ; n° portable

- Domaine disciplinaire : Psychologie

- Personnes impliquées dans le projet (nom prénom, statut, affiliation) :

- Établissement porteur du projet : Université Rennes 2

- Unité de recherche : LP3C

- Sous-domaine scientifique du projet : Psychologie

- Dates et durée du projet : 4 ans

- Objet du projet : Conception et évaluation d'un système tutoriel intelligent pour l'apprentissage par le croquis en anatomie

- Financeur du projet : Agence nationale de la recherche. AAP 2021

F. Note d'information et formulaire de consentement

Notice d'information

Participation à une étude menée dans le cadre du projet SKETCH

Responsable scientifique de la recherche : Éric Jamet ; eric.jamet@univ-rennes2.fr

Nous sollicitons votre participation dans une étude qui vise à comprendre comment il est possible d'améliorer l'apprentissage en anatomie en utilisant des outils pédagogiques innovants sur tablette. Cette étude est menée en collaboration entre le *Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication* (LP3C, Université Rennes 2) et l'IFPEK. Au cours de l'étude, vous serez amenés à consulter le contenu pédagogique du TD sur une tablette. Différents questionnaires vous seront également proposés pour évaluer vos connaissances préalables sur le thème du cours, votre niveau d'apprentissage durant le cours, et vos impressions sur l'activité réalisée. Les actions réalisées sur tablette seront enregistrées. Votre âge, votre genre et votre niveau d'études doivent aussi être collectés. Vous pouvez refuser de les fournir sans conséquences pour vous mais vos données seront alors incomplètes dans l'étude.

Pour garantir l'anonymat des participants, les informations seront pseudonymisées : un code personnel unique permettra de relier les données obtenues aux différents questionnaires.
Les informations recueillies sont uniquement à destination des chercheurs et ingénieurs impliqués dans ce projet.

Les données seront conservées pendant 3 ans à compter de la fin du projet SKETCH (fin 2028). Tout traitement de données doit être légalement justifié au regard de l'article 6 du RGPD. La base légale du traitement est ici la mission d'intérêt public car l'objectif de l'université Rennes 2 est la formation des étudiants et la recherche.

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée et au Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, vous pouvez exercer votre droit d'accès aux données vous concernant et les faire rectifier ou effacer en contactant le délégué à la protection des données (dpo@univ-rennes2.fr)

Si vous estimez, après nous avoir contactés, que vos droits « Informatique et Libertés » ne sont pas respectés, vous pouvez adresser une réclamation à la CNIL.

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Il m'a été proposé de participer à une étude sur l'apprentissage en anatomie sur tablette dans le cadre de mes cours.

L'investigateur m'a précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser que mes données soient exploitées à des fins de recherche.

Afin d'éclairer ma décision, j'ai reçu et compris les informations suivantes :

1) Je pourrai à tout moment interrompre ma participation si je le désire, sans avoir à me justifier.
2) Je pourrai prendre connaissance des résultats de l'étude dans sa globalité lorsqu'elle sera achevée.
3) Les données recueillies demeureront strictement confidentielles.
4) Les données anonymisées pourront être partagées dans un objectif de science ouverte.

Compte-tenu des informations qui m'ont été transmises : *cocher les cases appropriées en fonction de votre volonté (OUI / NON)*	**OUI**	**NON**
J'accepte en toute liberté de participer à cette étude		

Date :
Signature du participant :

Date :
Signature de l'investigateur :



Merci de rappeler votre code personnel de 7 caractères (en majuscules), à partir du modèle suivant. Ce code garantit l'anonymat des réponses.
Indiquez les 3 premières lettres du prénom de votre mère + le jour de votre naissance sur 2 chiffres + les deux derniers numéros de votre téléphone.
Exemple : Si votre mère s'appelle Sylvie, que vous êtes né(e) un 6 août et que votre numéro de téléphone est le 06 05 04 03 02, votre code est SYL 06 02.

Votre code personnel anonyme : ……

G. Mesures sociodémographiques

Renseignements

Année de naissance : ……

Genre : ○ Homme ○ Femme ○ Autre : ……

Vous êtes : ○ Gaucher(e) ○ Droitier(e) ○ Ambidextre

Langue maternelle : ○ Française ○ Autre : …….

Avez-vous des troubles de vision de la couleur : ○ Oui ○ Non

Redoublant : ○ Oui ○ Non

Après l'obtention de votre baccalauréat, si vous avez suivi/entamé d'autres formations avant d'étudier la kinésithérapie à l'IFPEK, veuillez indiquer lesquelles :

……

……

……

H. Questionnaire des variables contrôles

1. Sur une échelle de 1 à 9, merci d'entourer le chiffre qui correspond à votre niveau d'intérêt pour :

L'anatomie

Très faible 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Très élevé

Le dessin

Très faible 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Très élevé

2. Comment évalueriez-vous votre niveau en anatomie ?

Très faible 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Très élevé

3. Comment évalueriez-vous votre niveau de connaissance de l'anatomie de la colonne vertébrale ?

Très faible 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Très élevé

4. Comment évalueriez-vous votre niveau en dessin ?

Très faible 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Très élevé

I. Questionnaire d'utilité perçue du dessin pour l'apprentissage de l'anatomie

5. Cette question porte sur votre avis concernant **l'activité de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie.** Pour chaque affirmation, indiquez votre degré d'accord sur une échelle allant de **1 : « pas du tout d'accord » à 9 : « tout à fait d'accord ».**

		1 = Pas du tout d'accord								**9 = Tout à fait d'accord**
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1	Je trouve que l'activité de dessin est utile pour l'apprentissage de l'anatomie.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	Dessiner des croquis d'anatomie me permet de mieux comprendre les structures du corps humain.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	Je pense que dessiner l'anatomie est utile pour ma pratique en kinésithérapie.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	Dessiner l'anatomie m'aide à mieux me représenter le corps humain.	○	○	○	○	○	○	○	○	○

J. Questionnaire d'intérêt situationnel

Intérêt pour le cours

1. Cette question concerne **l'intérêt que vous avez porté sur le cours d'aujourd'hui.** Pour chaque phrase indiquez votre degré d'accord sur une échelle allant de **1 : « Pas du tout d'accord » à 9 : « Tout à fait d'accord ».**

1 = Pas du tout d'accord **9 = Tout à fait d'accord**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	J'ai été attiré·e par les modalités de présentation du cours.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	Les modalités d'apprentissage étaient ennuyantes.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	La façon dont le contenu a été présenté m'a plu.	○	○	○	○	○	○	○	○	○

K. Questionnaire de charge cognitive perçue

2. Les propositions qui suivent s'intéressent **à la façon dont vous avez traité le cours** qui vient d'avoir lieu. Pour chaque phrase, indiquez votre degré d'accord sur une échelle allant de **1 : « Pas du tout d'accord » à 9 : « Tout à fait d'accord ».**

1 = Pas du tout d'accord — **9 = Tout à fait d'accord**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Pendant ce cours, il fallait traiter beaucoup de choses en même temps dans sa tête. (ICL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	Dans ce cours, il était difficile d'identifier les informations les plus importantes. (ECL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	Ce cours était très complexe. (ICL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	La manière dont le contenu de ce cours était présenté n'était pas idéal pour l'apprentissage. (ECL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	En étudiant ce cours, je me suis attaché à tout comprendre correctement. (GCL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	Dans ce cours, il était difficile de faire le lien entre les notions clés. (ECL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	Je me suis appliqué à ne pas uniquement retenir les notions isolées, mais aussi à comprendre le contenu dans sa globalité. (GCL)	○	○	○	○	○	○	○	○	○

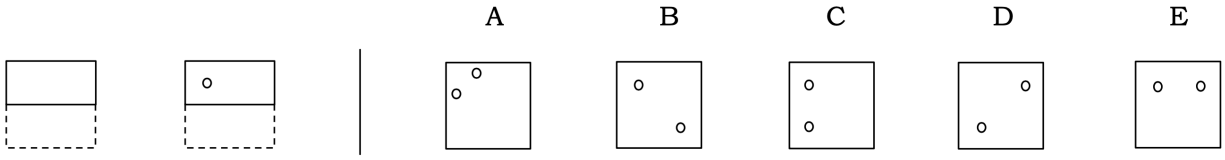
L. Paper Folding Test : Test de capacités spatiales

Dans cette épreuve, vous devez imaginer le pliage (et le dépliage) d'une feuille de papier. Dans chacun des problèmes de cette épreuve, vous avez un certain nombre de dessins à gauche et à droite d'une ligne verticale.

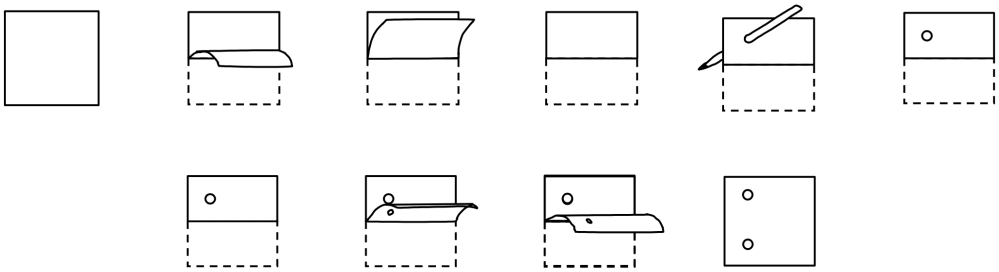
Les figures de gauche représentent une feuille carrée que l'on plie puis que l'on troue. Chaque trou est fait de telle manière qu'il traverse toute l'épaisseur du papier plié.

Chacune des 5 figures de droite propose des feuilles complètement dépliées avec des trous placés à divers endroits. Indiquez la bonne réponse en entourant la proposition qui vous semble correcte.

Essayez maintenant l'exercice ci-dessous : un seul trou est fait, une fois que le papier a été plié.



La réponse correcte est C. Vous devez donc la marquer d'une croix, c'est-à-dire entourer la lettre C sur votre feuille de réponse.



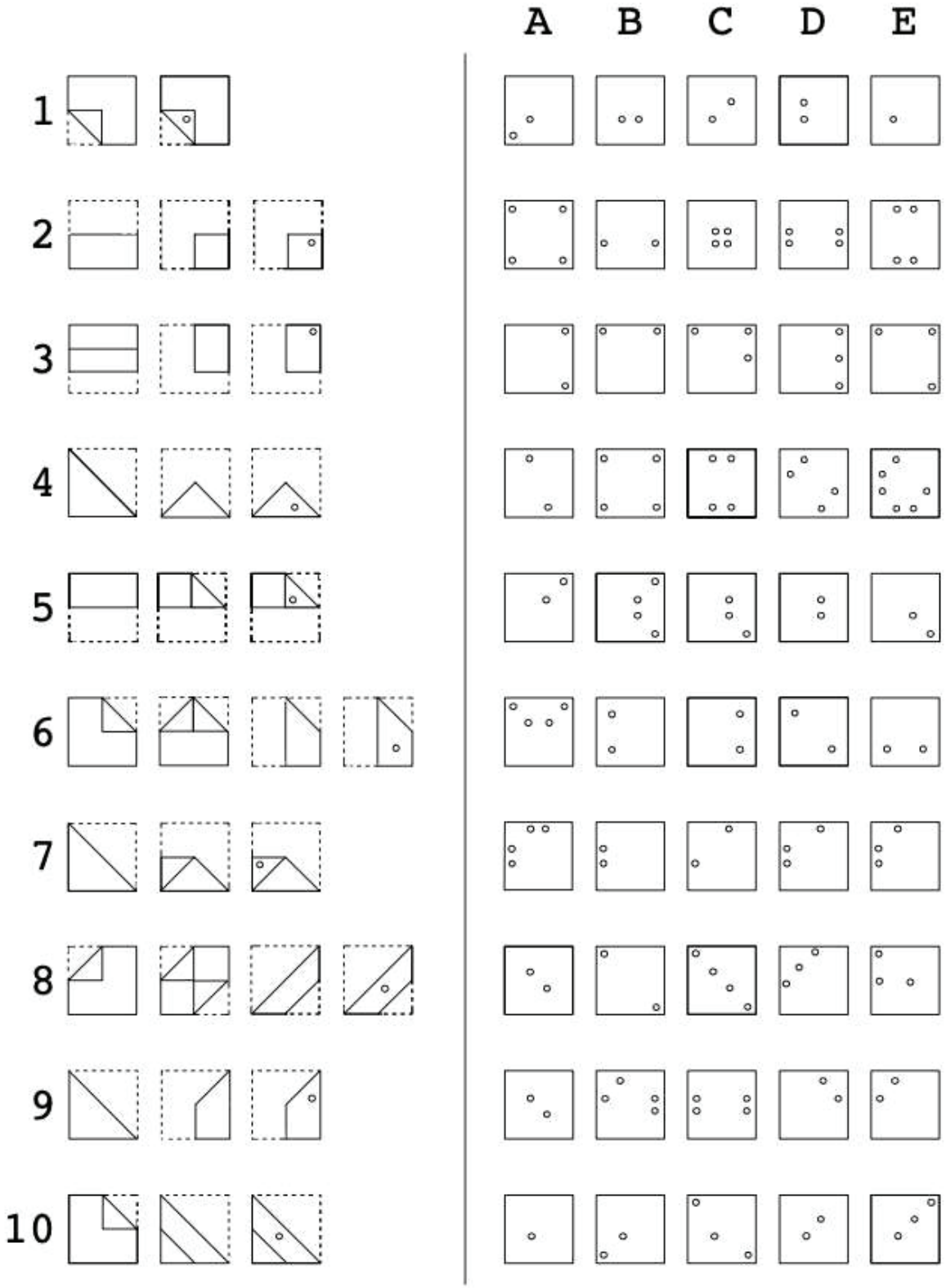
Dans tous les problèmes, tous les trous faits apparaissent sur les figures à gauche de la ligne. La feuille n'est jamais tournée ni déplacée.
Rappelez-vous bien que la bonne proposition correspond à la position des trous lorsque le papier a été intégralement déplié.

Vous disposez de 3 minutes pour réaliser cette épreuve.

STOP

Attendez les consignes avant de passer à la page suivante

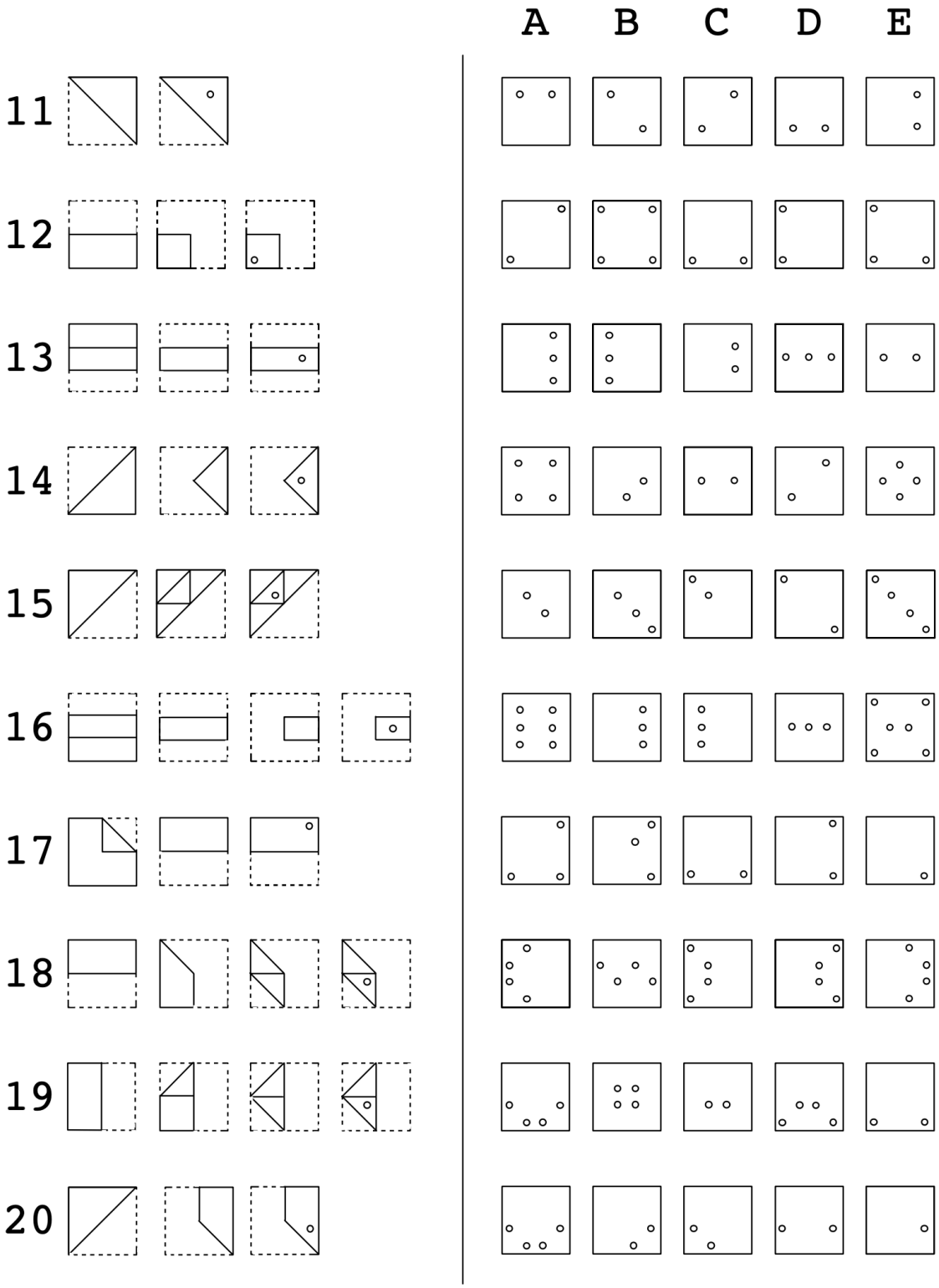
Partie 1 : test (3 minutes)



STOP

Attendez les consignes avant de passer à la page suivante

Partie 2 : test (3 minutes)



M. Questionnaire de connaissances préalables (rachis)

Les questions suivantes portent sur le domaine du rachis. Vos réponses vont nous aider à situer votre niveau de connaissance sur ce domaine avant d'assister à ce cours.
Il est tout à fait normal que certaines questions vous paraissent trop compliquées, n'hésitez donc pas à signaler lorsque vous ne connaissez pas la réponse correcte.

1. **Les vertèbres sommet de courbure du rachis sont :**
   - ○ C3 – T6 – L3
   - ○ C4 – T7 – L2
   - ○ C3 – T7 – L2
   - ○ C4 – T6 – L2
   - ○ Je ne sais pas

2. **Concernant les courbures du rachis :**
   - ○ La lordose lombaire est plus importante que la lordose cervicale.
   - ○ La courbure thoracique est une lordose.
   - ○ La lordose cervicale est plus importante que la lordose lombaire.
   - ○ Le rachis présente trois courbures symétriques.
   - ○ Je ne sais pas.

3. **Concernant les processus épineux du rachis :**
   - ○ Ils possèdent des caractéristiques identiques à tous les étages.
   - ○ Pour le rachis cervical, le processus épineux est très long et fortement oblique en bas et arrière.
   - ○ Pour le rachis lombaire, le processus épineux est trapu et de forme grossièrement circulaire.
   - ○ Pour le rachis thoracique, le processus épineux est très long et fortement oblique en bas et arrière.
   - ○ Je ne sais pas.

4. **Concernant les corps vertébraux du rachis :**
   - ○ Ils ont tous une forme de quadrangulaire dans un plan sagittal.
   - ○ Ils présentent une partie centrale constituée d'os cortical.
   - ○ Leurs faces antérieures donnent insertion au ligament longitudinal postérieur.
   - ○ Leur épaisseur et leur hauteur est plus importante en cervical qu'en lombaire.
   - ○ Je ne sais pas.

5. **L'épaisseur du disque inter-vertébral augmente aux étages thoracique et lombaire :**
   - ○ Vrai.
   - ○ Faux.
   - ○ Je ne sais pas.

6. Le ligament longitudinal antérieur :

- ○ Ne présente pas de fibres s'insérant sur les disques inter-vertébraux.
- ○ S'insère sur le bord antérieur du foramen magnum.
- ○ S'étend jusqu'à la face antérieure du sacrum.
- ○ Devient de moins en moins large au niveau lombaire.
- ○ Je ne sais pas.

7. Le ligament longitudinal postérieur :

- ○ S'insère sur le bord postérieur du foramen magnum.
- ○ S'insère sur le bord antérieur du foramen magnum.
- ○ Devient de plus en plus large à la partie thoracique basse et lombaire.
- ○ Est formé de fibres superficielles, obliques, s'insérant sur les disques intervertébraux.
- ○ Je ne sais pas.

8. Le plateau supérieur de S1 (première vertèbre sacrée) forme un angle avec l'horizontale :

- ○ Il est incliné de 30° à 40° vers l'avant et le bas.
- ○ Il est incliné de 20° à 30° vers l'avant et le bas.
- ○ Il est incliné de 10° à 30° vers l'avant et le bas.
- ○ Il est incliné de 0° à 10° vers l'avant et le bas.
- ○ Je ne sais pas.

N. Questionnaire de mémorisation et de compréhension (rachis)

Les questions suivantes portent sur ce que vous avez retenu et compris lors de la réalisation du croquis. Cochez la bonne réponse à chaque question.

1. **Les vertèbres sommet de courbure du rachis sont :**
   - ○ C3 – T6 – L3
   - ○ C4 – T7 – L2
   - ○ C3 – T7 – L2
   - ○ C4 – T6 – L2
   - ○ Je ne sais pas

2. **Concernant les courbures du rachis :**
   - ○ La lordose lombaire est plus importante que la lordose cervicale.
   - ○ La courbure thoracique est une lordose.
   - ○ La lordose cervicale est plus importante que la lordose lombaire.
   - ○ Le rachis présente trois courbures symétriques.
   - ○ Je ne sais pas.

3. **Concernant les processus épineux du rachis :**
   - ○ Ils possèdent des caractéristiques identiques à tous les étages.
   - ○ Pour le rachis cervical, le processus épineux est très long et fortement oblique en bas et arrière.
   - ○ Pour le rachis lombaire, le processus épineux est trapu et de forme grossièrement circulaire.
   - ○ Pour le rachis thoracique, le processus épineux est très long et fortement oblique en bas et arrière.
   - ○ Je ne sais pas.

4. **Concernant les corps vertébraux du rachis :**
   - ○ Ils ont tous une forme de quadrangulaire dans un plan sagittal.
   - ○ Ils présentent une partie centrale constituée d'os cortical.
   - ○ Leurs faces antérieures donnent insertion au ligament longitudinal postérieur.
   - ○ Leur épaisseur et leur hauteur est plus importante en cervical qu'en lombaire.
   - ○ Je ne sais pas.

5. **L'épaisseur du disque inter-vertébral augmente aux étages thoracique et lombaire :**
   - ○ Vrai.
   - ○ Faux.
   - ○ Je ne sais pas.

6. **Le ligament longitudinal antérieur :**
   - ○ Ne présente pas de fibres s'insérant sur les disques inter-vertébraux.
   - ○ S'insère sur le bord antérieur du foramen magnum.
   - ○ S'étend jusqu'à la face antérieure du sacrum.
   - ○ Devient de moins en moins large au niveau lombaire.
   - ○ Je ne sais pas.

7. **Le ligament longitudinal postérieur :**
    - ○ S'insère sur le bord postérieur du foramen magnum.
    - ○ S'insère sur le bord antérieur du foramen magnum.
    - ○ Devient de plus en plus large à la partie thoracique basse et lombaire.
    - ○ Est formé de fibres superficielles, obliques, s'insérant sur les disques intervertébraux.
    - ○ Je ne sais pas.

8. **Le plateau supérieur de S1 (première vertèbre sacrée) forme un angle avec l'horizontale :**
    - ○ Il est incliné de 30° à 40° vers l'avant et le bas.
    - ○ Il est incliné de 20° à 30° vers l'avant et le bas.
    - ○ Il est incliné de 10° à 30° vers l'avant et le bas.
    - ○ Il est incliné de 0° à 10° vers l'avant et le bas.
    - ○ Je ne sais pas.

9. **D'un point de vue clinique et concernant la palpation des processus épineux, on peut dire qu'ils sont :**
    - ○ Au niveau cervical, en regard des corps vertébraux.
    - ○ Au niveau thoracique, en regard des vertèbres n+1.
    - ○ Au niveau cervical, en regard des vertèbres n-1.
    - ○ Au niveau lombaire, en regard des vertèbres n-1.
    - ○ Je ne sais pas

10. **Concernant la palpation des processus épineux les uns par rapports aux autres, on peut dire que la palpation sera plus distincte :**
    - ○ Au niveau cervical.
    - ○ Au niveau thoracique.
    - ○ Au niveau lombaire.
    - ○ Cela ne change rien quel que soit l'étage palpé.
    - ○ Je ne sais pas

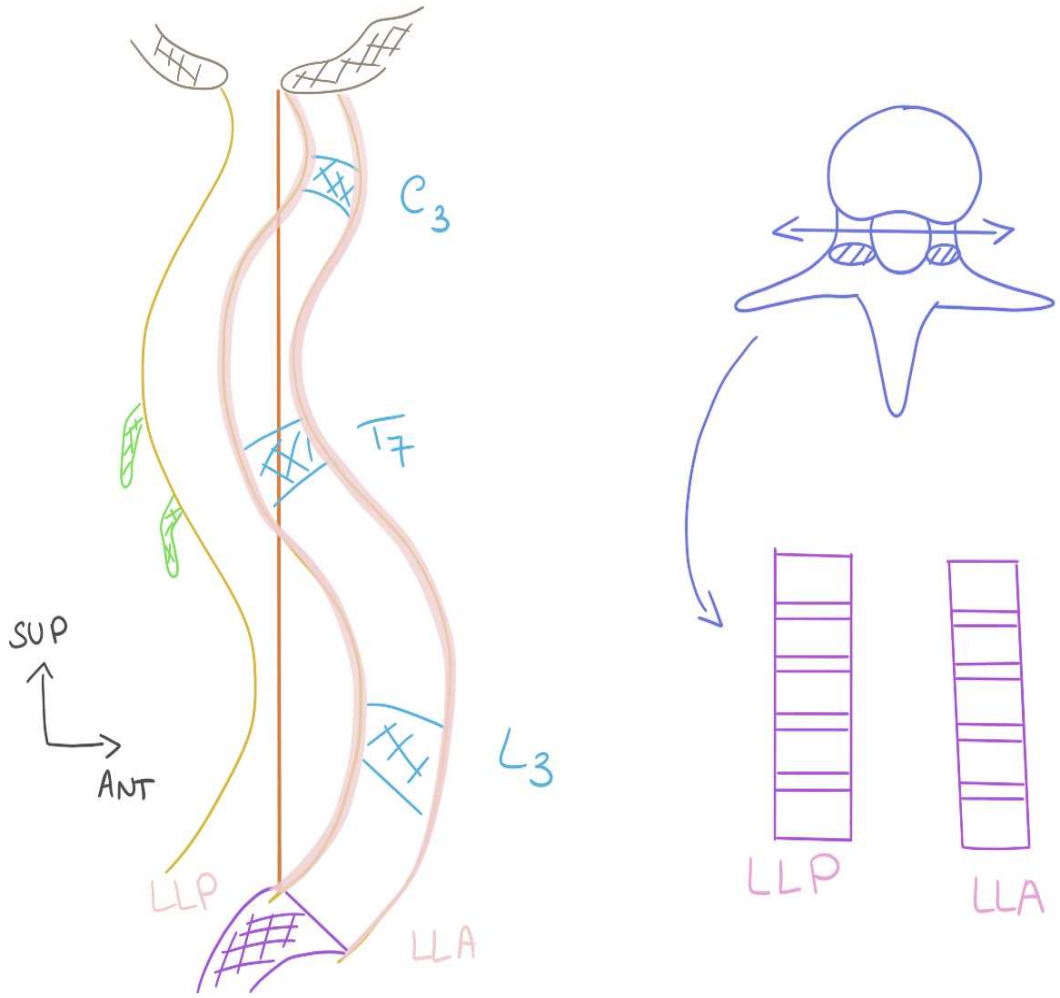
11. **D'un point de vue physiopathologique et tenant compte de l'anatomie du LLP au niveau lombaire, la localisation préférentielle des hernies discales lombaires est :**
    - ○ Centrale (médiane).
    - ○ Latérale (droite ou gauche).
    - ○ Aucun préférentiel.
    - ○ Je ne sais pas.

12. **Le réseau fibreux antéro-postérieur de stabilisation du rachis est épais et large lorsqu'il protège une courbure convexe :**
    - ○ Vrai.
    - ○ Faux.
    - ○ Je ne sais pas.

13. **Une des étiologies du spondylolisthésis lombaire *(glissement d'une vertèbre lombaire vers l'avant et vers le bas par rapport à la vertèbre située juste en dessous)* est en lien mécanique avec l'inclinaison du plateau supérieur de S1 (première vertèbre sacrée) :**
    - ○ Vrai
    - ○ Faux
    - ○ Je ne sais pas

14. Complétez le croquis ci-dessous en ajoutant les éléments manquants suivants :

- Les vertèbres C4-T6-L2
- Les processus épineux aux niveaux cervical et lombaire
- Les pédicules et le processus transverses sur les vues en coupe
- Les ligaments LLP et LLA sur les vues en coupe



O. Questionnaire de connaissances préalables (œil)

Le but de ce questionnaire est de nous aider à situer votre niveau de connaissance sur ce domaine avant d'assister à ce cours. Si vous ne connaissez pas la réponse, passez à la question suivante.

1. Comment se nomme la partie qui donne la couleur de l'œil ?

……
…….

2. Citez les membranes de l'œil que vous connaissez :

……
……
…….

3. Quel(s) élément(s) de l'œil permet(tent) l'accommodation ?

……
……
…….

4. Quel(s) élément(s) de l'œil reçoive(nt) et transforme(nt) les rayons lumineux ?

……
……
…….

5. Quel(s) élément(s) permet(tent) de réguler la quantité de lumière qui entre dans l'œil ?

……
……
…….

P. Test de connaissances visuospatiales et questionnaire d'apprentissage post-test (œil)

1. Dessinez ci-dessous l'œil avec tous les éléments dont vous vous souvenez. Pensez à bien identifier avec précision les différentes parties que vous légenderez. Si vous n'avez pas la possibilité de dessiner avec plusieurs couleurs, pensez à bien séparer les éléments dessinés.

Questionnaire d'apprentissage

Les questions suivantes portent sur ce que vous avez retenu de l'activité que vous venez de réaliser concernant l'anatomie de l'œil.
Répondez aux questions suivantes. Préférez la réponse « je ne sais pas » lorsque vous ne connaissez pas la réponse correcte.

1. A quoi servent les photorécepteurs présents dans la rétine ?

……
……
……
……

2. Quel est le rôle de la membrane vasculaire ? ……
……

3. Décrivez la forme et l'aspect de la cornée :

……
……
……

4. Expliquez à quoi sert le cristallin ? Décrivez ensuite l'aspect du cristallin :

……
……
……
……

5. Quelle est l'aspect (la couleur) de la membrane fibreuse ?

……
……

6. Quel est le rôle de l'iris ?

……
……
……

7. A quoi sert le nerf optique ?

……
……
……
……

8. Que se passe-t-il pour le cristallin lorsque nous observons un objet qui s'éloigne de nous ?

……
……
……
……

9. Dans un premier temps, expliquez le rôle de la conjonctive. Décrivez ensuite son aspect.

……
……
……
……

10. De combien de membrane(s) la coque extérieure de l'œil est-elle formée ? ……..

11. A votre avis, à quel(s) élément(s) peuvent-être associées chacune des fonctions suivantes : analyseur, transformateur, récepteur, conducteur

- Cornée, humeur aqueuse, cristallin, corps vitré : ……..
- Rétine (cônes et bâtonnets) : ……
- Nerf optique : ……..
- Cerveau : ……

12. Une des particularités de l'œil est qu'il existe une zone, nommée la papille, qui ne possède aucun photorécepteur (ni cône ni bâtonnet). A votre avis, où se situe cette zone ?

……
……

13. Lorsque le cristallin ne projette pas efficacement l'image sur la rétine, quel mécanisme est en cause ?

……
……

14. Citez, dans l'ordre, par quel(s) élément(s) passent les rayons lumineux pour que nous puissions observer ?

……
……
……

15. Quelle partie de l'œil est atteinte chez les personnes ayant les yeux vairons (yeux de couleurs différentes) ? ……

16. L'œil humain peut être affecté de nombreux défauts de vision. Certaines pathologies atteignent le cristallin qui n'accommode plus correctement. Pour corriger ces défauts, on tente d'augmenter ou diminuer la vergence (ou puissance optique) de l'œil en utilisant des lentilles (lunettes) convergentes ou divergentes.

Dans le cas de la myopie par exemple, le cristallin est trop convergent : l'image d'un objet se forme donc en avant de la rétine. Pour corriger ce défaut, il faut donc …… la vergence de l'œil en utilisant une lentille …….. .
Dans le cas de l'hypermétropie, le cristallin n'est pas assez convergent. L'image d'un objet se forme en arrière de la rétine. Pour corriger ce défaut, il faut …….. la vergence de l'œil à l'aide de lentille ……. .

17. La cataracte est définie comme l'opacification progressive du cristallin. A votre avis, quelles sont les conséquences de la cataracte sur le fonctionnement de l'œil ?

……
……

Q. Questionnaire d'apprentissage revue pour le cours sur l'œil en étude 3

Les questions suivantes portent sur ce que vous avez retenu de l'activité que vous venez de réaliser concernant l'anatomie de l'œil.
Répondez aux questions suivantes. Préférez la réponse « je ne sais pas » lorsque vous ne connaissez pas la ou les réponse(s) correcte(s).

1. Concernant l'iris, quelle information est vraie :
    - C'est une membrane avasculaire
    - Il est pigmenté et donne la teinte de l'œil
    - Il comprend de multiples photorécepteurs
    - C'est une lentille transparente
    - Je ne sais pas

2. Concernant la membrane fibreuse, quelles informations sont vraies :
    - La sclérotique représente 5/6 du globe oculaire
    - La choroïde représente 1/6 du globe oculaire
    - La cornée représente 1/6 du globe oculaire
    - La sclérotique représente 1/2 du globe oculaire
    - Je ne sais pas

3. Où se situe la choroïde ?
    - Sous la rétine
    - Sous la sclérotique
    - Sur la cornée
    - En avant du corps ciliaire
    - Je ne sais pas

4. Comment se nomment les photorécepteurs présents sur la rétine ?
    - Les cônes
    - Les corps ciliaires
    - Les batônnets
    - Les conjonctives
    - Je ne sais pas

5. Quels sont les trois parties de la membrane vasculaire :
    - Le corps vitré, l'humeur aqueuse et le cristallin
    - La sclérotique, la choroïde et la rétine
    - L'iris, la pupille et le corps ciliaire
    - La choroïde, le corps ciliaire et l'iris
    - Je ne sais pas

6. A quoi servent ces photorécepteurs ?
    - Ils permettent de capter la lumière
    - Ils permettent de transmettre l'information au cerveau
    - Ils protègent le cristallin
    - Ils transforment la lumière en influx nerveux
    - Je ne sais pas

7. Quelle zone correspond au départ du nerf optique ?
    - La cornée
    - La rétine
    - L'humeur aqueuse
    - Le cristallin
    - Je ne sais pas

8. Quel est le rôle du nerf optique ?
    - Il protège le cristallin
    - Ils transforment la lumière en influx nerveux
    - Il permet de capter la lumière
    - Il permet de transmettre l'information au cerveau
    - Je ne sais pas

9. Quel milieu transparent se situe le plus proche de la rétine ?
    - Le corps vitré
    - L'humeur aqueuse
    - Le cristallin
    - La conjonctive
    - Je ne sais pas

10. Quel est le rôle de la membrane vasculaire ?
    - Rôle de conduction de l'information
    - Rôle protecteur
    - Rôle de transformation de l'information
    - Rôle nourricier
    - Je ne sais pas

11. Où se situe l'iris ?
    - En avant des corps ciliaires
    - En avant du nerf optique
    - En arrière du globe oculaire
    - En périphérie de la coque extérieure de l'œil
    - Je ne sais pas

12. Quel est le rôle de la conjonctive ?
    - Rôle nourricier
    - Rôle de transformation de l'information
    - Rôle protecteur
    - Rôle de conduction de l'information
    - Je ne sais pas

13. Où se situe l'humeur aqueuse ?
    - Entre la cornée et le cristallin
    - Entre le cristallin et le nerf optique
    - Sous la rétine
    - En avant du nerf optique
    - Je ne sais pas

14. Qu'est-ce que le cristallin ?
    - Une lentille biconcave qui permet l'accommodation
    - Une lentille biconvexe qui permet l'accommodation
    - Une des 3 membranes vasculaires
    - Une membrane et muqueuse transparente
    - Je ne sais pas

15. Où se situe le corps vitré ?
    - En arrière du cristallin
    - Entre la cornée et le cristallin
    - En avant de l'iris
    - Entre la sclérotique et la rétine
    - Je ne sais pas

16. La sortie du nerf optique sur la rétine se nomme la papille. Cette zone ne possède aucun photorécepteur. Quelle est la particularité de cette zone ?
    - Aucune image n'est produite, c'est une zone aveugle
    - La vision se fait en nuances de gris
    - Cette zone est responsable de la vision périphérique
    - Cette zone possède une meilleure acuité visuelle
    - Je ne sais pas

17. Où se situe la conjonctive ?
    - A l'intérieur des paupières
    - Entre la sclérotique et la rétine
    - En arrière du cristallin
    - En avant du nerf optique
    - Je ne sais pas

18. Quelle partie de l'œil est atteinte chez les personnes ayant les yeux vairons (yeux de couleurs différentes) ?
    - La pupille
    - L'iris
    - La sclérotique
    - La rétine
    - Je ne sais pas

19. Quel élément se trouve au centre de l'iris :
    - Le nerf optique
    - La fovéa
    - La pupille
    - Les bâtonnets
    - Je ne sais pas

20. L'achromatopsie est une forme de daltonisme sévère qui se traduit par l'incapacité de voir en couleur. La vision se fait uniquement en noir et blanc. A votre avis, quelle peut-être la cause de cette maladie ?
    - Atteinte fonctionnelle des bâtonnets
    - Atteinte fonctionnelle de la papille
    - Atteinte fonctionnelle des cônes
    - Atteinte fonctionnelle de l'iris
    - Je ne sais pas

R. Questionnaire de connaissances préalables (rein)

Connaissance concernant le fonctionnement du rein

Le but de ce questionnaire est de nous aider à situer votre niveau de connaissance sur ce domaine avant d'assister à ce cours. Si vous ne connaissez pas la réponse, passez à la question suivante.

6. Quelles sont les fonctions des reins ?

……
……
…….

7. Comment se nomme l'unité fonctionnelle présente en très grand nombre dans chaque rein ?

……
…….

8. Quel liquide est filtré par le rein ?

……
……
…….

9. Quelles sont les trois étapes fonctionnelles du rein ?

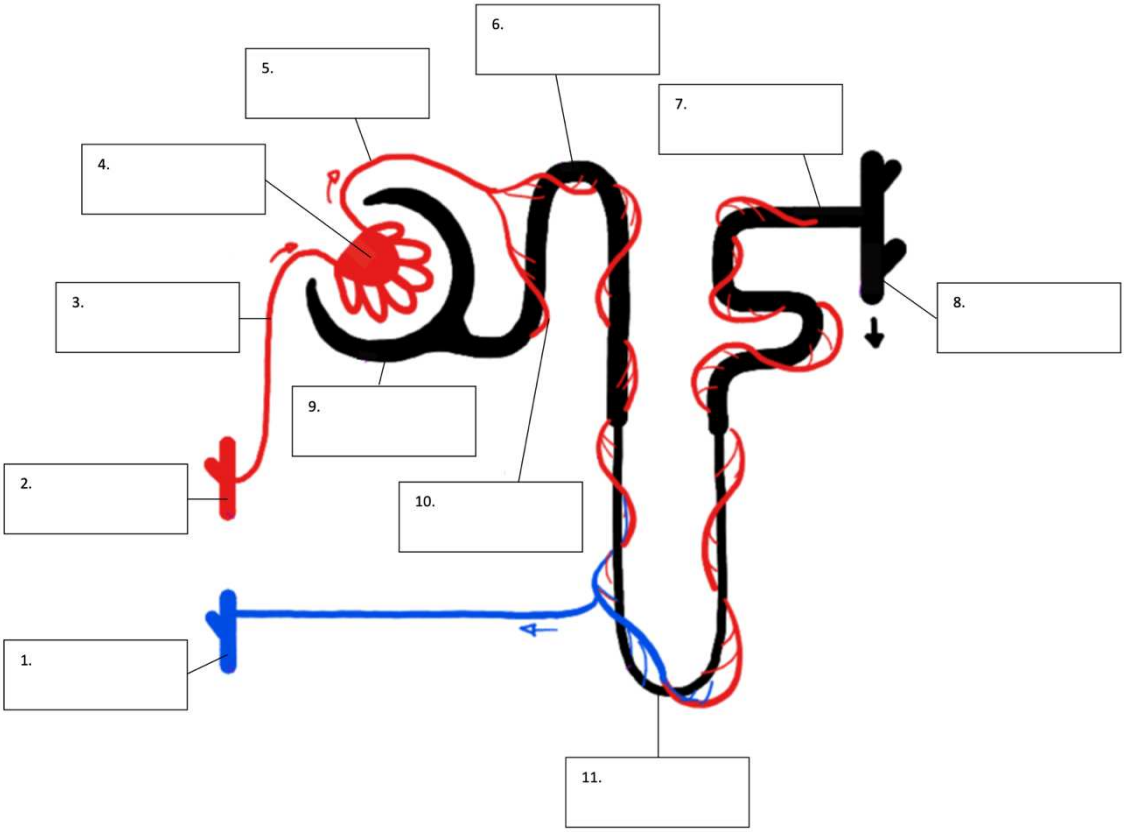
……
……
…….

10. Comment se nomme les quatre tubes par lesquels passe l'urine primitive ?

……
……
…….

S. Test de connaissances visuospatiales (rein)

3. **Légendez <u>tous</u> les éléments** présents sur le schéma ci-dessous. Puis, rappelez ci-dessous **les deux premières étapes de la perfusion rénale** avec les **numéros des éléments présents dans chacune de ces étapes** :
   - Étape 1 : …….. : n°……
   - Étape 2 : …….. : n°……



T. Questionnaire d'apprentissage (rein)

Questionnaire d'apprentissage

Les questions suivantes portent sur ce que vous avez retenu de l'activité que vous venez de réaliser concernant le fonctionnement du rein.
Répondez aux questions suivantes. Préférez la réponse « je ne sais pas » lorsque vous ne connaissez pas la ou les réponse(s) correcte(s).

1. Quelles sont les trois grandes étapes de la perfusion rénale ?
    - Filtration, réabsorption, excrétion
    - Filtration, absorption, évacuation
    - Épuration, absorption, excrétion
    - Filtration, réabsorption, évacuation
    - Je ne sais pas

2. Laquelle (ou lesquelles) de ces structures n'est (ou ne sont) pas en contact direct avec le tube contourné distal ?
    - L'anse de Henlé
    - Le tube collecteur
    - Le tube contourné proximal
    - Les capillaires péritubulaires
    - Je ne sais pas

3. Combien de néphrons possèdent un être humain normalement constitué ?
    - 1 million par rein
    - 1 million par personne
    - 2 millions par rein
    - 2 millions par personne
    - Je ne sais pas

4. Quel tube est relié à la capsule de Bowman ?
    - Le tube collecteur
    - L'anse de Henlé
    - Le tube contourné proximal
    - Le tube contourné distal
    - Je ne sais pas

5. Quelle structure produit l'urine primitive ?
    - Le glomérule
    - La capsule de Bowman
    - Le tube contourné proximal
    - L'anse de Henlé
    - Je ne sais pas

6. Quels éléments sont en contact direct ?
    - L'artériole afférente et l'artériole efférente
    - L'artériole efférente et les capillaires péritubulaires
    - L'artère rénale et l'artériole afférente
    - La veine rénale et l'artériole afférente
    - Je ne sais pas

7. Quels éléments sont réabsorbés par le tube contourné proximal ?
    - Sodium
    - Glucose
    - Phosphates
    - Bicarbonates
    - Je ne sais pas

8. Vers quel canal repart le sang après avoir circulé dans les capillaires péritubulaires ?
    - Artère rénale
    - Anse de Henlé
    - Artériole afférente
    - Veine rénale
    - Je ne sais pas

9. Au niveau de quelle structure sont réabsorbés du sodium, du glucose, des phosphates et des bicarbonates ?
    - Tube collecteur
    - Tube contourné proximal
    - Anse de Henlé
    - Capsule de Bowman
    - Je ne sais pas

10. Au niveau de quelle structure s'effectue l'évacuation du sang des capillaires péritubulaires ?
    - Au niveau du tube contourné proximal
    - Au niveau de l'anse de Henlé
    - Au niveau de la capsule de Bowman
    - Au niveau du tube collecteur
    - Je ne sais pas

11. Quel couple d'éléments est réabsorbé par l'anse de Henlé ?
    - Sodium et glucose
    - Sodium et calcium
    - Phosphates et bicarbonates
    - Phosphates et potassium
    - Je ne sais pas

12. Quel est l'ordre des tubules par lequel circule l'urine primitive ?
    - Tube contourné distal, Anse de Henlé, Tube contourné proximal, Tube collecteur
    - Anse de Henlé, Tube contourné proximal, Tube contourné distal, Tube collecteur
    - Tube contourné proximal, Anse de Henlé, Tube contourné distal, Tube collecteur
    - Tube collecteur, Tube contourné proximal, Anse de Henlé, Tube contourné distal
    - Je ne sais pas

13. Quels éléments sont réabsorbés par le tube contourné distal ?
    - Du sodium
    - Du potassium
    - Des bicarbonates
    - Du chlore
    - Je ne sais pas

14. Autour de quel tube ne trouve-t-on pas de capillaires péritubulaires ?
    - Le tube collecteur
    - L'anse de Henlé
    - Le tube contourné proximal
    - Le tube contourné distal
    - Je ne sais pas

15. Quelle est la fonction de l'hormone appelée « aldostérone » ?
    - Ajuster l'équilibre acido-basique de l'urine
    - Ajuster la concentration de l'urine
    - Ajuster la réabsorption de sodium au niveau du tube collecteur
    - Ajuster la réabsorption des ions H+ au niveau du tube collecteur
    - Je ne sais pas

16. Quels éléments ne sont pas en contact direct ?
    - Le glomérule et l'artère rénale
    - L'anse de Henlé et le tube contourné proximal
    - Le tube contourné proximal et l'artériole efférente
    - La capsule de Bowman et les capillaires péritubulaires
    - Je ne sais pas

17. Quelle proportion du plasma filtré constitue l'urine définitive ?
    - 1%
    - 35%
    - 65%
    - 99%
    - Je ne sais pas

18. Sur 170L d'urine primitive produite par jour, quelle quantité d'urine finale est rejetée par l'organisme ?
    - 1L
    - 1.5L
    - 2L
    - 2.5L
    - Je ne sais pas

19. A votre avis, que se passera t'il si le processus de réabsorption rénale devenait soudainement anormalement faible ?
    - La production d'urine diminuera
    - La production d'urine augmentera
    - Une quantité trop faible de nutriments restera dans le sang
    - Une quantité trop élevée de déchets restera dans le sang
    - Je ne sais pas

20. Environ un enfant sur 1000 nait naturellement avec un seul rein : C'est l'agénésie rénale unilatérale. Ces enfants sont suivis par le corps médical, mais s'ils n'ont pas d'autres anomalies, on s'attend à ce qu'ils mènent une vie relativement normale.

    A votre avis, quelles raisons expliquent ce phénomène ?

    - Un rein unique normal est capable d'assurer seul la perfusion rénale.
    - Le rein unique de ces enfants est plus gros pour compenser l'absence du second rein.
    - Les néphrons du rein unique de ces enfants filtrent davantage pour compenser l'absence du second rein.
    - Un rein unique normal est capable d'assurer la perfusion rénale d'un enfant, mais pas celle d'un adulte, des difficultés apparaîtront progressivement.
    - Je ne sais pas

21. A votre avis que se passe t'il en cas d'insuffisance rénale, une atteinte où les reins sont moins performants et ne filtrent plus correctement le sang de l'organisme.
    - Une quantité trop faible de nutriments restera dans le sang
    - Une quantité trop élevée de déchets restera dans le sang
    - La production d'urine n'est pas impactée
    - La production d'urine est impactée
    - Je ne sais pas

22. Quelle différence y a-t-il entre le sang provenant de l'artère rénale et celui repartant vers la veine rénale ?
    - Il n'y a pas de différence
    - Le sang en provenance de la veine rénale contient plus de nutriments que le sang repartant par l'artère rénale.
    - Le sang en provenance de l'artère rénale contient plus de déchets que le sang repartant par la veine rénale.
    - Le sang en provenance de l'artère rénale a déjà été filtré pour conserver les éléments nécessaires au fonctionnement du corps humain.
    - Je ne sais pas

23. Lorsque les reins fonctionnent parfaitement, quelles affirmations sont vraies ?
    - Les tubules conservent les éléments jugés essentiels à l'organisme et rejettent les éléments non-essentiels.
    - Le sang est filtré pour obtenir une urine primitive dont certains éléments seront réabsorbés par le sang.
    - Le sang qui repart par la veine rénale est composée des éléments du sang jugés non-essentiels ou toxiques pour l'organisme
    - L'urine est composée des éléments du sang jugés non-essentiels ou toxiques pour l'organisme.
    - Je ne sais pas.

Index des Figures

Figure 1. *Exemple de representations de schema anatomique (rachis a gauche) et physiologique (rein a droite).* 18

Figure 2. *Modele traduit de la theorie cognitive de l'apprentissage multimedia de Mayer.* 44

Figure 3. *Modele traduit de la theorie cognitive et affective de l'apprentissage multimedia de Moreno et Mayer (2007).* 49

Figure 4. *Modele traduit de la theorie generative de la construction de dessin de Van Meter et Garner (2005), propose par Leutner et Schmeck en 2014.* 58

Figure 5. *Representation traduite du modele cognitif de la generation de dessin de Van Meter et Firetto (2013).* 61

Figure 6. *Architecture globale du logiciel IntuiSKETCH.* 97

Figure 7. *Presentation des interfaces enseignant et apprenant.* 98

Figure 8. *Exemple de segmentation en etapes pour le cours sur l'anatomie de l'œil construit par les enseignants.* 99

Figure 9. *Capture d'ecran du mode consultation.* 100

Figure 10. *Capture d'ecran du mode recopie.* 101

Figure 11. *Capture d'ecran du mode memorisation.* 102

Figure 12. *Capture d'ecran de la zone de dessin avec illustration partiellement fournie.* 102

Figure 13. *Presentation de l'interface apprenant.* 104

Figure 14. *Dessin de l'enseignante pour le cours sur les ligaments longitudinaux du rachis.* 106

Figure 15. *Dessin des enseignants pour le cours sur l'anatomie de l'œil.* 107

Figure 16. *Dessin de l'enseignant pour le cours du fonctionnement d'un nephron (rein).* 108

Figure 17. *Dessin des enseignant·es pour le cours sur l'anatomie des os du carpe.* 108

Figure 18. *Dessin du cours sur les ligaments longitudinaux du rachis.* 120

Figure 19. *Captures d'ecran des interfaces apprenant·e en fonction des conditions d'apprentissage (etude 1).* 121

Figure 20. *Chronologie du deroulement de l'experimentation.* 126

Figure 21. *Resultats moyens obtenus aux mesures d'utilite perçue pour les deux conditions d'apprentissage.* 131

Figure 22. *Dessin du cours sur l'anatomie de l'œil.* 135

Figure 23. *Captures des interfaces apprenant·e en fonction des conditions d'apprentissage (etude 2).* 136

Figure 24. *Chronologie des etapes de procedure de l'etude 2.* 139

FIGURE 25. *GRAPHIQUE DES SCORES MOYENS OBTENUS AUX TESTS D'UTILITE PERÇUE EN FONCTION DE LA CONDITION D'APPRENTISSAGE.* 143

FIGURE 26. *CAPTURES D'ECRAN DES INTERFACES APPRENANT·ES EN FONCTION DES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE (ETUDE 3).* 161

FIGURE 27. *DESSIN DU COURS SUR LE FONCTIONNEMENT D'UN NEPHRON (REIN).* 180

FIGURE 28. *CAPTURES D'ECRAN DES INTERFACES APPRENANT·ES SELON LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE (ETUDE 4).* 181

FIGURE 29. *CAPTURES D'ECRAN DES INTERFACES APPRENANT·ES EN FONCTION DES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE (ETUDE 5).* 205

FIGURE 30. *CAPTURE D'ECRAN DE L'INTERFACE APPRENANT D'INTUISKETCH AVEC FEEDBACKS.* 238

Index des tableaux

Tableau 1. *Statistiques descriptives et resultats aux analyses des mesures controle.* 128

Tableau 2. *Moyennes et ecarts-types des resultats d'apprentissage.* 130

Tableau 3. *Moyennes et ecarts-types des resultats d'apprentissage.* 142

Tableau 4. *Moyennes et ecart-types concernant les variables controles.* 163

Tableau 5. *Moyennes et ecart-types des resultats d'apprentissage.* 165

Tableau 6. *Moyennes et ecart-types obtenus aux pre et post tests mesurant l'utilite perçue par les apprenant·es concernant la strategie de dessin pour l'apprentissage de l'anatomie.* 166

Tableau 7. *Statistiques descriptives et resultats d'analyses pour les variables controlees en pre-test.* 188

Tableau 8. *Moyennes et ecart-types obtenus aux performances d'apprentissage.* 190

Tableau 9. *Moyennes et ecart-types obtenus aux mesures auto-rapportees en fonction de chaque condition experimentale.* 191

Tableau 10. *Statistiques descriptives des variables controlees d'interet et niveaux perçus.* 208

Tableau 11. *Statistiques descriptives des performances d'apprentissage par condition.* 211

Tableau 12. *Score d'utilite perçue des differentes strategies de dessin d'apprentissage estimee en pre-test et post-test (Likert de 1 a 9).* 212

COLLEGE DOCTORAL BRETAGNE
EDUCATION, LANGAGES INTERACTIONS, COGNITION CLINIQUE, EXPERTISE

UNIVERSITÉ RENNES 2

Titre : Stratégies d'apprentissage par le dessin sur tablette en formation médicale et paramédicale : effets de différents types de supports de l'activité sur les performances d'apprentissage et les perceptions des étudiant·es.

Mots clés : Stratégie d'apprentissage par le dessin, apprentissage actif, anatomie, environnement numérique d'apprentissage

Résumé : Cette thèse s'inscrit dans le projet ANR SKETCH (n°-ANR-21-CE38-009-01) visant à améliorer l'apprentissage de l'anatomie des étudiant·es par une stratégie d'apprentissage active de dessin sur tablette avec stylet. L'apprentissage de l'anatomie s'appuie principalement sur des supports multimédias combinant textes et illustrations. La littérature montre que dessiner à partir de la lecture d'un texte scientifique peut être plus efficace, en termes d'apprentissage, que de fournir des illustrations. Toutefois, les effets de cette activité restent à préciser dans le domaine de l'anatomie dans la mesure où elle consiste principalement, dans cette discipline, à dessiner à partir d'illustrations fournies. Cette thèse examine ainsi les effets de différentes stratégies de dessin sur l'apprentissage de contenus anatomiques et physiologiques. Cinq études ont été réalisées. Les performances d'apprentissage, l'auto-évaluation et les perceptions des étudiant·es étaient évaluées. Les résultats montrent des effets limités du dessin. Celui-ci semble favoriser l'acquisition de connaissances visuospatiales, évaluées par des tâches ultérieures de dessin ou de complétion de schémas, sans bénéfice global sur la compréhension. En revanche, les résultats suggèrent un effet potentiellement négatif sur le traitement des informations textuelles. Par ailleurs, le dessin influence la précision de l'auto-évaluation et l'utilité perçue de la stratégie. Enfin, les effets du dessin semblent être modulés par les capacités spatiales des apprenant·es, et dépendent également du type d'activité et du contenu pédagogique.

Title: Tablet-based drawing in medical and paramedical training: effects of different supports on learning performance and students' perceptions.

Keywords: Generative drawing, active learning, anatomy, digital learning environment

Abstract : This thesis is part of the ANR SKETCH project (n°-ANR-21-CE38-009-01), which aims to improve students' learning of anatomy through the integration of an active learning strategy involving drawing on a tablet with a stylus. Anatomy learning primarily relies on multimedia materials combining text and illustrations. The literature shows that drawing based on the reading of a scientific text can be more effective for learning than providing illustrations. However, the effects of drawing remain to be clarified in the field of anatomy, as learning in this domain predominantly involves drawing from provided illustrations rather than from text alone. This thesis therefore examines the effects of different drawing strategies on the learning of anatomical and physiological content. Five studies were conducted. Students' learning performance, self-assessment and perceptions were evaluated. The results show limited effects of drawing. Drawing seems to specifically promote the acquisition of visuospatial knowledge, as measured by subsequent drawing or diagram completion tasks, without providing overall benefits for comprehension. In contrast, the findings suggest a potentially negative effect on the processing of textual information. Furthermore, drawing influences the accuracy of self-assessment and the perceived usefulness of the strategy. Finally, the effects of drawing appear to be moderated by learners' spatial abilities and also depend on the type of activity and the instructional content.