



**HAL**  
open science

# Approche psycho-ergonomique de l'usage de la simulation en e-learning pour l'apprentissage de procédures : le cas du point de suture

Leslie Jannin

## ► To cite this version:

Leslie Jannin. Approche psycho-ergonomique de l'usage de la simulation en e-learning pour l'apprentissage de procédures : le cas du point de suture. Psychologie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2020. Français. NNT : 2020BRES0027 . tel-03164835

**HAL Id: tel-03164835**

**<https://theses.hal.science/tel-03164835>**

Submitted on 10 Mar 2021

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

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

# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE  
DE BRETAGNE OCCIDENTALE

ECOLE DOCTORALE N° 603  
*Education, Langages, Interaction, Cognition, Clinique*  
Spécialité : *Psychologie*

Par

**Leslie JANNIN**

**Approche psycho-ergonomique de l'usage de la simulation en e-learning pour l'apprentissage de procédures**

Le cas du point de suture

**Thèse présentée et soutenue à Brest, le 17/06/2020**

**Unité de recherche** : Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance, CNRS, UMR 6285, Technopole Brest-Iroise, CS 83818, 29238 Brest Cedex 3 FRANCE

## **Rapporteurs avant soutenance :**      **Composition du Jury :**

Mireille BETRANCOURT Professeure, Université de Genève

Laurent HEURLEY Maître de conférences, Université de Picardie Jules Verne

Jean-Michel BOUCHEIX      Professeur, Université de Bourgogne  
Président

Mireille BETRANCOURT      Professeure, Université de Genève

Laurent HEURLEY      Maître de conférences, HDR, Université de Picardie Jules Verne

Olivier REMY-NERIS      Professeur d'université – Praticien Hospitalier, Université de Bretagne Occidentale

Franck GANIER      Professeur, Université de Bretagne Occidentale  
Directeur de thèse

Philine DE VRIES      Maître de conférences – Praticienne hospitalier, Université de Bretagne Occidentale  
Co-directrice de thèse

## REMERCIEMENTS

En août 2016 j'ai déménagé à Brest pour démarrer un doctorat. Après ces trois ans et demi, il m'est difficile de faire la différence entre ce qui fait partie de l'expérience de doctorat et ce qui fait simplement partie de l'expérience de vie. Les rencontres, les séparations, les rapprochements et les éloignements qui se sont produits durant cette tranche de vie font tout autant partie de cette expérience que les connaissances (procédurales ou non) que j'ai développées en réalisant cette thèse. Ce mémoire de thèse est donc dédié aux personnes qui ont contribué à cette expérience chacun à sa manière, parfois même sans le savoir.

Tout d'abord, à Franck Ganier pour avoir été toujours présent, m'avoir soutenue, encouragée et corrigée pendant toute la durée de ma thèse. Merci de m'avoir répété que mes articles étaient bons, même si je recevais des refus à la chaîne. Merci d'avoir fait le café (alors que c'est le boulot des doctorants). Merci, surtout, d'avoir été toujours présent, je me rends compte que j'ai eu de la chance.

À Philine de Vries, grâce à qui je sais désormais faire de très beaux points de suture, ce qui me permet de m'en vanter dans des situations incongrues. Merci pour le temps que tu as réussi à dégager dans ton emploi du temps surchargé. Merci également pour ta gentillesse, c'est un plaisir de travailler avec toi.

Je tiens également à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce mémoire de thèse et de participer à ma soutenance. Merci à Laurent Heurley et à Mireille Bétrancourt d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse. Merci à Jean-Michel Boucheix et Olivier Rémy-Neris d'avoir fait partie de mon comité de suivi et de m'avoir conseillé durant la réalisation de ce doctorat.

Puisque ce projet a bénéficié du soutien financier de la Région Bretagne et de l'Université de Bretagne Occidentale, je souhaite les remercier pour leur contribution.

Il me faut également remercier les étudiants de la faculté de médecine de Brest qui ont participé pendant leur deuxième année, aux expériences menées en 2017, 2018 et 2019, ainsi que le personnel du service de chirurgie pédiatrique du CHRU Morvan où j'ai occupé une salle pendant plusieurs mois pour les passations.

Je tiens particulièrement à remercier les étudiants du Master CAER qui ont participé, pendant leur année de M1 respectives, à la récolte des données des 5 expériences qui composent cette thèse : Alexis Panaget, Marie-Claude Veilleux, Heidi Capelier, Anne-Louise Carrière et Aurélien Léchappé. Ils ont permis de rendre les longues journées de passation beaucoup plus agréables.

Merci également à Isabelle David et Rachel Vilar, secrétaires des écoles doctorales de la Faculté de Lettres et Sciences Humaines, qui ont permis d'adoucir toute la paperasserie administrative qui fait partie de l'expérience de thèse.

Merci aux doctorants de la salle B117 (ou « salle des doctorants ») qui ont été mes collègues durant toutes ces années : ceux qui ont soutenu, ceux qui vont soutenir et ceux qui ont l'impression de ne jamais pouvoir y arriver (ça va aller, promis). Merci pour les pauses repas, merci pour les conseils, merci pour les longues discussions, les encouragements, les pauses vapotage, les cafés et tous les moments partagés.

Merci à ma famille qui m'a soutenue durant la réalisation de cette thèse. Merci à ma mère pour m'avoir encouragé et rappelé de poursuivre d'autres buts (je vais l'avoir ce permis). Merci à Audrey et à mon père d'avoir toujours cru en ma réussite et d'avoir accepté avec joie de relire mon manuscrit. Je veux aussi mentionner mes grands-parents, Pablo (qui est officiellement devenu ingénieur), Sencha (désormais collégienne) et tous ceux qui m'ont apporté leur soutien.

Et enfin, merci à mes amis, brestois, Rennais ou d'ailleurs qui m'ont répété à quel point ils croyaient en moi dans chaque moment de doute. Vous avez réussi plein de choses durant ces années et je suis fier de faire partie de votre vie. J'ai hâte de célébrer avec vous.

## PREAMBULE

Les travaux de cette thèse ont fait l'objet de publications et communications :

### **Publications dans des revues à comité de lecture :**

Jannin, L., Ganier, F., et De Vries P. (2019). Atomized or delayed execution? An alternative paradigm for the study of procedural learning. *Journal of Educational Psychology*.  
[doi:10.1037/edu0000357](https://doi.org/10.1037/edu0000357)

### **Communications scientifiques orales et actes de colloques :**

Jannin, L. (2018). Apprentissage d'un geste technique : Est-il pertinent d'exécuter les actions immédiatement ? Actes en ligne du 16e séminaire M@rsouin2018 - Le Bono, 31 mai et 1er juin 2018. Disponible sur : <https://www.marsouin.org/article1089.html>

Jannin, L., Ganier, F., et De Vries P. (juillet, 2017). Effets du point de vue de présentation des instructions et de l'aptitude à la rotation mentale sur l'apprentissage d'un geste technique. Communication présentée à la 9ème conférence de Psychologie Ergonomique (EPIQUE), Dijon, France.

Jannin, L. (juin, 2017). Effet du format de présentation des instructions, comparaison du point de vue égocentré et hétérocentré. Communication présentée au séminaire de l'équipe IHSEV 2017, Brest, France.

Jannin, L. (mai, 2017). Effets du point de vue de présentation des instructions sur l'apprentissage du point de suture. Communication présentée au Forum des Doctorants de l'UFR Lettres et Sciences Humaines, Brest, France.

### **Communications affichées :**

Jannin, L., Ganier, F., et De Vries P. (2018, novembre). Organisation de blended learning : Une étude exploratoire de terrain en apprentissage chirurgical. Poster présenté à la Journée d'étude : Technologies éducatives et formation, Rennes, France.

Jannin, L., Ganier, F., et De Vries P. (2018, septembre). Apprentissage d'un geste technique par la simulation : Comparaison de 2 paradigmes d'étude. Poster présenté au 59ème Congrès de la Société Française de Psychologie, Reims, France.



# TABLE DES MATIERES

<b>Introduction .....</b>	<b>14</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE.....</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre 1 – Mémoire et apprentissage : Conception structuraliste et cognitiviste.....</b>	<b>20</b>
1. La mémoire de travail : Un système à capacité limitée en trois composantes .....	20
1.1. Une mémoire à capacité limitée.....	21
1.2. Modèle(s) de la mémoire de travail.....	22
2. La mémoire à long terme : Structure et apprentissage .....	24
2.1. Mémoire explicite et mémoire implicite .....	24
2.2. Connaissances biologiquement primaires ou secondaires.....	27
3. Dépasser les limites de la mémoire de travail .....	30
3.1. L'effet de la mémoire experte .....	30
3.2. Construction et automatisation des schémas .....	33
4. Conclusion .....	37
<b>Chapitre 2 – Principes de psychologie cognitive pour la conception de <i>e-learning</i> .....</b>	<b>40</b>
1. La théorie de la charge cognitive .....	40
1.1. Architecture cognitive humaine .....	41
1.2. Charge cognitive, charges cognitives.....	43
2. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia.....	49
2.1. La théorie du double codage .....	50
2.2. L'apprentissage actif .....	53
2.3. Le modèle de Mayer .....	54
3. Documents pédagogiques et <i>e-learning</i> .....	57
3.1. Le <i>e-learning</i> .....	58
3.2. L'apprentissage hybride ou <i>blended learning</i> .....	65

4. Conclusion .....	69
<b>Chapitre 3 – Apprentissage procédural et transmission des connaissances procédurales .....</b>	<b>72</b>
1. L'apprentissage procédural.....	72
1.1. Connaissances procédurales et règles de production .....	73
1.2. Les trois phases de l'apprentissage procédural.....	75
1.3. L'atomisation de l'action : Une spécificité de l'apprentissage procédural.....	80
2. Aspects cognitifs de l'apprentissage procédural : Comprendre, agir, répéter .....	83
2.1. Comprendre : Le traitement des instructions .....	84
2.2. Agir : La réalisation de la procédure .....	86
2.3. Répéter pour apprendre .....	88
3. Conception des documents procéduraux .....	90
3.1. Objectifs de l'utilisation d'instructions .....	91
3.2. Concevoir des documents procéduraux pour faciliter leur traitement.....	94
3.3. Concevoir des documents procéduraux pour l'action et la répétition.....	97
4. Conclusion .....	99
<b>Chapitre 4 – La simulation médicale pour l'apprentissage.....</b>	<b>102</b>
1. Qu'est-ce que la simulation ?.....	102
1.1. Objectifs de la simulation .....	103
1.2. Fidélité(s) de la simulation .....	105
2. Objectif de formation : la simulation pour l'apprentissage .....	109
2.1. La situation de simulation : une mise en situation couvrant plusieurs étapes ...	110
2.2. L'utilisation de la simulation pour l'apprentissage : une taxonomie .....	113
3. Spécificités de la simulation médicale .....	116
3.1. La simulation médicale pour l'apprentissage : une taxonomie.....	117
3.2. La simulation médicale pour l'apprentissage : un impératif éthique.....	120
3.3. Avantages et inconvénients de la simulation médicale.....	122

4. Efficacité pédagogique de la simulation en médecine .....	126
4.1. Les méthodes d'évaluation de l'efficacité de la simulation.....	127
4.2. L'étude de l'efficacité de la simulation .....	130
5. Conclusion .....	134
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE .....</b>	<b>138</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>140</b>
1. Geste technique ciblé et instruments utilisés.....	140
2. <i>E-learning</i> et <i>blended learning</i> .....	141
3. Répétitions de la procédure et méthode expérimentale .....	142
4. Mesures comportementales et échelles utilisées.....	143
5. Expériences menées au cours de cette thèse .....	145
<b>Chapitre 5 – Consultation des documents procéduraux photo et vidéo : L'atomisation de l'action .....</b>	<b>148</b>
1. Atomisation de l'action et segmentation des documents .....	148
2. Hypothèses.....	151
3. Méthode.....	152
3.1. Population.....	152
3.2. Matériel.....	153
3.3. Procédure.....	158
4. Résultats.....	160
4.1. Durée de réalisation de la procédure .....	160
4.2. Durée de consultation des instructions .....	162
4.3. Durée d'exécution du geste .....	164
4.4. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions .....	165
4.5. Durée d'une consultation des instructions.....	166

4.6.	Nombre d'erreurs .....	167
4.7.	Score OSATS .....	167
4.8.	Évaluations subjectives de l'apprentissage .....	168
5.	Discussion .....	169
5.1.	Évaluation de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure ...	170
5.2.	Atomisation de l'action .....	171
5.3.	Répétitions de la procédure.....	173
6.	Conclusion .....	175
<b>Chapitre 6 – L'apprentissage à l'aide de documents procéduraux : l'influence du paradigme d'étude.....</b>		<b>178</b>
1.	Atomisation de l'action et paradigmes d'étude.....	178
2.	Hypothèses.....	179
3.	Méthode.....	181
3.1.	Population.....	181
3.2.	Matériel.....	181
3.3.	Procédure.....	184
4.	Résultats.....	186
4.1.	Réussite de la tâche .....	186
4.2.	Durée de réalisation de la procédure .....	187
4.3.	Durée de consultation des instructions .....	189
4.4.	Durée d'exécution du geste .....	190
4.5.	Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions .....	191
4.6.	Durée d'une consultation des instructions.....	192
4.7.	Nombre d'erreurs .....	193
4.8.	Score OSATS .....	194

4.9.	Évaluations subjectives de l'apprentissage .....	196
5.	Discussion .....	197
5.1.	Évaluation de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure ...	197
5.2.	Impact du paradigme d'étude .....	198
5.3.	Répétitions de la procédure.....	201
6.	Conclusion .....	201
<b>Chapitre 7 – Effet de la perspective des instructions sur l'apprentissage de procédures .....</b>		<b>204</b>
1.	Habilités visuo-spatiales et perspective des instructions visuelles.....	204
2.	Expérience 3 .....	207
2.1.	Hypothèses.....	207
2.2.	Méthode.....	208
2.3.	Résultats.....	213
2.4.	Discussion.....	224
3.	Expérience 4 .....	229
3.1.	Hypothèses.....	231
3.2.	Méthode.....	232
3.3.	Résultats.....	234
3.4.	Discussion.....	241
4.	Conclusion .....	244
<b>Chapitre 8 – Organisation d'un apprentissage procédural en simulation et <i>blended learning</i>. Une étude de terrain .....</b>		<b>248</b>
1.	Entraînement et <i>blended learning</i> .....	248
2.	Étayage, pré-entraînement et exemple résolu .....	250
3.	Hypothèses.....	252
4.	Méthode.....	252
4.1.	Population.....	252

4.2. Matériel.....	253
4.3. Procédure.....	254
5. Résultats.....	256
5.1. Durée de réalisation de la procédure .....	257
5.2. Nombre d'erreurs .....	257
5.3. Score OSATS.....	258
5.4. Évaluations subjectives de l'apprentissage .....	260
6. Discussion.....	260
6.1. Vérification de la validité interne.....	261
6.2. Organisation de la formation.....	262
7. Conclusion .....	262
<b>Discussion générale .....</b>	<b>266</b>
1. Principaux résultats.....	266
1.1. Atomisation de l'action et phase déclarative de l'apprentissage procédural.....	266
1.2. Effet des paradigmes d'étude et de la répétition sur les variables.....	268
1.3. Point de vue de présentation des instructions.....	272
1.4. Évaluation de la validité interne de l'apprentissage par simulation en <i>e-learning</i> et <i>blended learning</i> .....	275
2. Limites des études présentées dans cette thèse .....	278
2.1. Population et geste étudiés .....	278
2.2. Matériel et mesures.....	279
2.3. Procédures .....	282
3. Perspectives.....	283
4. Conclusion .....	286
<b>Références.....</b>	<b>288</b>
<b>Index des figures.....</b>	<b>314</b>

<b>Index des tableaux.....</b>	<b>318</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>320</b>
Annexe 1 - Échelle OSATS (Objective Structured Assessment of Technical Skills) par Martin et al. (1997), traduite en français et adaptée par Bréaud et al. ....	320
Annexe 2 - Échelles des erreurs à ne pas faire.....	321
Annexe 3 - Questionnaire pré-expérience .....	322
Annexe 4 - Questionnaire post-expérience .....	323
Annexe 5 - Vue du NASA-TLX ( <i>National Aeronautics and Space Administration Task Load index</i> ) élaborée par Hart et Staveland, (1988) administrée via le logiciel Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008).....	324
Annexe 6 - Échelles d'effort mental, traduite de Paas et van Merriënboer (1993) .....	333
Annexe 7 - Échelles de difficulté perçue .....	334
Annexe 8 - Test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978), étalonné et adapté en langue française par Albaret et Aubert (1996) .....	335
Annexe 9 - Test de prise de perspective de Hergarty & Waller (2004) traduit en français et sa solution (non traduite).....	341



## INTRODUCTION

En formation médicale initiale, traditionnellement, l'apprentissage des gestes techniques tels la réalisation d'un point de suture, la pose d'un plâtre ou la pose d'une sonde urinaire, était réalisé lors de stages hospitaliers (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Ces gestes étaient donc appris directement sur les patients en situation de soin à l'hôpital. Désormais, ce modèle éducatif n'est plus considéré comme viable éthiquement (Renaut et al., 2018 ; Granry & Moll, 2012). C'est pourquoi les recommandations ont évolué et l'apprentissage des gestes techniques est désormais souvent réalisé hors soins, dans les facultés de médecine ou les centres de simulation qui ont émergé ces dernières années. Des ateliers d'entraînement pratique ont par conséquent été développés à l'attention des étudiants en santé, en formation initiale ou continue. Ces ateliers permettent aux étudiants d'acquérir des habiletés procédurales grâce à la pratique en simulation. Ainsi, à la faculté de médecine de Brest, les étudiants en premier cycle d'études médicales apprennent à réaliser des points de suture sur des peaux synthétiques lors d'un de ces ateliers. Cependant, un grand nombre d'étudiants devant être formés, ces ateliers se déroulent sur deux heures, un temps relativement court pour permettre à chacun de pratiquer. Le temps consacré à la pratique est donc insuffisant pour qu'un niveau acceptable concernant les gestes étudiés soit atteint. En effet, l'acquisition de connaissances procédurales nécessite une pratique répétée et peut requérir un apprentissage plutôt long (Anderson, 2013; Corbett & Anderson, 1995). À l'université de Brest, une réflexion a été initiée afin d'optimiser l'efficacité de l'apprentissage par simulation. Cette réflexion vise à proposer une démarche de cours en ligne, venant compléter l'offre d'ateliers en présentiel. Une première étude issue de cette réflexion, qui portait sur le support de présentation des instructions en ligne, a été réalisée par Ganier et de Vries (2016). Elle visait à déterminer le format de présentation le plus efficace pour l'apprentissage de la réalisation d'un point de suture en *e-learning*. Cette étude comparait les performances d'étudiants en médecine, confrontés à trois formats (vidéo + audio, vidéo + texte, photos + texte), sur des mesures comportementales et des mesures de qualité des sutures. Les travaux présentés ici sont les prolongements de cette étude princeps et de la réflexion sur l'amélioration des situations d'apprentissage de procédures par la simulation en situation d'*e-learning*.

Cette thèse de doctorat a pour objectif de comprendre comment optimiser l'efficacité de l'apprentissage par la simulation en *e-learning*, pour former les étudiants en médecine à la réalisation de gestes chirurgicaux. Pour ce faire, il s'agira non seulement de s'appuyer sur les théories du traitement d'instructions et de documents multimédias, ainsi que sur des théories de l'apprentissage procédural basées sur la recherche fondamentale, mais également de tester la validité des situations pédagogiques étudiées lors d'expérimentations conduites en situation réelle d'apprentissage. Ce manuscrit comprend huit chapitres regroupés en deux parties, l'une théorique et l'autre expérimentale.

Pour comprendre quels sont les systèmes mnésiques et les processus qui permettent l'apprentissage, le premier chapitre se focalisera sur les différents types de mémoire et sur l'apprentissage. Il abordera ainsi la mémoire de travail, avec laquelle les individus traitent l'information, puis il traitera de la mémoire à long terme et de la différence entre mémoire déclarative et mémoire procédurale. Enfin, il évoquera les différences entre novices et experts à travers l'étude des structures cognitives qui peuvent les expliquer. Puisque cette thèse s'intéresse à l'apprentissage à partir de documents présentés en *e-learning*, le deuxième chapitre se focalisera tout d'abord sur le traitement cognitif des documents pédagogiques. Il présentera deux théories : la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1994) et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014). Ce chapitre abordera enfin les spécificités inhérentes à l'apprentissage *e-learning* et présentera le *blended learning*, combinaison de cours en ligne et en présentiel. Afin de montrer les différences fondamentales entre l'apprentissage déclaratif et l'apprentissage procédural, le troisième chapitre présentera l'apprentissage de procédures à travers la théorie ACT (*Adaptive Control of Thought*) d'Anderson (1982). Il évoquera ensuite les spécificités de l'apprentissage procédural et des documents procéduraux. Le dernier chapitre de la partie théorique sera consacré à l'étude du concept de simulation. Il présentera la définition de la simulation, puis les particularités de l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage dans le domaine médical. Pour finir, ce quatrième chapitre abordera l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage en médecine.

La partie expérimentale sera introduite en présentant le geste chirurgical choisi et les éléments de méthode expérimentale communs à toutes les expériences. Le cinquième chapitre sera consacré à un questionnement méthodologique sur les paradigmes d'étude

utilisés lors des études sur l'apprentissage procédural. Le sixième chapitre effectuera une analyse comparant l'utilisation de documents procéduraux sous différents formats de présentation en situation d'apprentissage réel. Le chapitre sept regroupera deux expériences, toutes les deux consacrées à la conception des instructions procédurales, et plus particulièrement l'étude du point de vue le plus adapté pour l'apprentissage d'un geste. Le dernier chapitre sera consacré à la mise en place et à la validation d'une situation d'apprentissage combinant cours en ligne et en présentiel pour l'apprentissage procédural en faculté de médecine. Ce chapitre s'intéressera également à l'organisation de ce type d'apprentissage. La discussion générale permettra de résumer et de combiner les principaux résultats de cette thèse. Elle présentera différentes limites des cinq expériences présentées et proposera des perspectives pour des recherches à venir.



# **PARTIE THÉORIQUE**

---



# CHAPITRE 1 – MEMOIRE ET APPRENTISSAGE : CONCEPTION STRUCTURALISTE ET COGNITIVISTE

L'apprentissage concerne le phénomène de traitement et de stockage de l'information, depuis la mémoire perceptive jusqu'en mémoire à long terme. On considère un élément comme appris lorsqu'il est stocké en mémoire à long terme et peut être utilisé ultérieurement. Avant de pouvoir être stocké en mémoire à long terme, cet élément devra être traité par la mémoire sensorielle puis par la mémoire de travail. La mémoire de travail permet de stocker l'information durant un temps court, de la traiter et de la transmettre (ou non) en mémoire à long terme. Pour étudier l'apprentissage il est donc nécessaire d'étudier le fonctionnement de la mémoire et de ses différents systèmes. Ce premier chapitre commence par aborder le système de la mémoire de travail, qui est un système limité gérant les activités conscientes et permettant le traitement des informations (Graham, 2013; Sitzmann, Kraiger, Stewart & Wisher, 2006; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Il traite ensuite de la mémoire à long terme, système destiné à stocker les informations apprises de manière illimitée, et de l'apprentissage. La troisième section traite de la façon dont les experts peuvent dépasser les limites de leur mémoire de travail en utilisant leurs connaissances en mémoire à long terme, et comment le concept de *schémas* permet d'expliquer cela.

## **1. La mémoire de travail : Un système à capacité limitée en trois composantes**

L'un des principaux modèles utilisés pour représenter la mémoire humaine est celui d'Atkinson et Shiffrin (1968, 1971). Dans ce modèle, l'information en provenance de l'environnement est traitée par différents registres sensoriels, définis selon la modalité de l'information entrante (visuel, auditif, haptique... etc.), avant d'entrer dans un système de stockage à court terme, limité dans sa durée et sa capacité. Certains auteurs ont avancé que ce stockage à court terme servirait également de mémoire de travail, en définissant différents processus de contrôle pour maintenir et traiter l'information (Baddeley & Hitch, 1974). Cela permettrait à cette *mémoire de travail* de combiner des informations qui proviennent des registres sensoriels, donc de l'environnement, mais également de la

mémoire à long terme. Dans ce modèle, la mémoire de travail contrôle donc le flux des informations vers la mémoire à long terme mais également hors de celle-ci, ce qui la rend cruciale pour l'apprentissage (Baddeley, 2010; Reed, 2012).

Cette première section aborde tout d'abord le fonctionnement de la mémoire de travail. Elle commence par la définition de la mémoire de travail et ses limites, autant en matière de quantité d'informations qui y sont stockées, qu'en matière de durée de conservation de ces informations. Elle aborde ensuite le principal modèle de représentation de la mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974 ; Baddeley, 2012).

### **1.1. Une mémoire à capacité limitée**

Le concept de mémoire de travail a évolué à partir du concept de mémoire à court terme, et les deux termes sont encore parfois utilisés de façon interchangeable. Cette mémoire est initialement définie par la durée de maintien des informations. En mémoire de travail, les informations ne sont maintenues que quelques secondes. Elle se distingue en cela de la mémoire à long terme, dans laquelle les informations peuvent être maintenues toute une vie (Blanc & Brouillet, 2003). Les éléments contenus en mémoire de travail se dégradent rapidement et nécessitent un processus de répétition pour y être maintenus plus longtemps (Atkinson & Shiffrin, 1971). Cependant, la dégradation temporelle des informations n'est pas la principale cause de leur disparition de la mémoire de travail. Les interférences avec d'autres informations représentent la cause majeure de cette dégradation (Reed, 2012).

La limitation quantitative de la mémoire de travail explique le fait que les interférences constituent la cause principale de la dégradation des informations. Cette limite est appelée l'empan mnésique. Celui-ci représente « le nombre d'éléments que l'on peut restituer immédiatement et dans l'ordre dans lequel ils nous ont été présentés. » (Blanc & Brouillet, 2003, p. 15). Miller (1956) a défini l'empan mnésique comme étant de sept, plus ou moins deux éléments. La capacité de la mémoire à court terme n'est pas limitée par la quantité d'informations, mais par le nombre d'items informationnels (ou *chunks*) à garder en mémoire. Ces items peuvent être des informations ou bien des groupes d'informations. Pour Miller (1956), ces groupements d'informations seraient des unités familières, créés en combinant les items que l'individu traite régulièrement ensemble. Le nombre d'items que la mémoire à court terme peut conserver est constant, mais pas la quantité d'information (un item pouvant contenir une quantité variable d'information mnésique). Puisque l'empan

correspond à un nombre d'items limité mais pas à une quantité d'informations limitée, la quantité d'informations conservée peut être augmentée simplement en créant des unités plus vastes.

Le concept de mémoire de travail comprend le concept de mémoire à court terme, qui représente le stockage temporaire d'un petit nombre d'items sur une courte période temporelle, et prend également en compte la capacité à réaliser un traitement de l'information stockée. En effet, la mémoire à court terme correspond au stockage de l'information, contrairement à la mémoire de travail qui se réfère au stockage mais également aux systèmes et processus de traitement et de manipulation de l'information, comme dans le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968, 1971). Ces systèmes et processus sont nécessaires pour réaliser des tâches cognitives de haut niveau telles la compréhension, le raisonnement ou l'apprentissage (Baddeley, 2010; Reed, 2012).

### **1.2. Modèle(s) de la mémoire de travail**

Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1971) avait deux faiblesses principales. La première concerne la supposition faite par le modèle que la simple rétention des informations en mémoire à court terme garantit le transfert en mémoire à long terme. Cependant, certaines études ont montré que le traitement de ces informations est essentiel pour les acquérir à long terme (Baddeley, 2010, 2012) : même si un transfert incident en mémoire à long terme peut résulter d'une simple rétention en mémoire de travail, un traitement est généralement nécessaire. La seconde faiblesse concerne le fait que pour Atkinson et Shiffrin, en l'absence d'une mémoire à court terme en bon état, l'information devrait être rapidement perdue et les patients seraient donc incapables d'apprendre (Baddeley, 2010). Le bon état de la mémoire à court terme semble donc nécessaire à l'apprentissage. Or, les découvertes en neuropsychologie ont montré que des patients cérébrolésés avec une mémoire de travail fortement dégradée peuvent encore apprendre, et par conséquent transférer du contenu en mémoire à long terme. Shallice et Warrington (1970) ont par exemple étudié le cas du patient K.F. qui, malgré un empan verbal et numérique de deux items ou moins, avait des performances normales sur des tâches de mémoire à long terme. Ces résultats montraient, selon Baddeley et Hitch (1974), que la mémoire de travail ne pouvait pas être un système unitaire.

Baddeley et Hitch (1974) ont donc abandonné l'idée d'un modèle unitaire de la mémoire de travail, comme celui d'Atkinson et Shiffrin (1971), pour proposer à la place un modèle de la mémoire de travail en trois composantes : deux systèmes esclaves et un système de contrôle. La boucle-phonologique est un système esclave qui permet de traiter l'information verbale. Elle possède un élément de stockage dans lequel les informations verbales sont enregistrées et disparaissent rapidement, et un processus de répétition qui permet de rafraîchir les informations. Le calepin visuo-spatial constitue le second système esclave. Il permet le traitement de l'information visuelle et imagée. Le calepin visuo-spatial présenterait des composants similaires à la boucle phonologique (Baddeley, 2010). Ces deux systèmes esclaves seraient dirigés par l'administrateur central, un système de contrôle chargé de sélectionner, d'intégrer et de traiter les informations en provenance de ceux-ci. Les auteurs nomment ce système de stockage et de traitement de l'information *mémoire de travail*, insistant ainsi sur le rôle important qu'elle joue dans un large spectre d'activités cognitives (Baddeley, 2010).

Baddeley (2010) ajoute que d'autres modalités pourraient également être intégrées ou différenciées en mémoire de travail. En effet, il est possible de distinguer des tâches plutôt visuelles de tâches plutôt spatiales. Sur certaines situations de double tâche, il est également possible de traiter des éléments visuels et des éléments spatiaux. Cela pourrait être la preuve de la dissociation des traitements visuels et spatiaux en mémoire de travail (Baddeley, 2010). Des systèmes basés sur d'autres modalités pourraient potentiellement exister au sein de la mémoire de travail, comme un système basé sur le mouvement, sur l'odorat, sur le goût ou sur le toucher, mais ceux-ci étant plus compliqués à étudier expérimentalement, ils ne sont pas pris en compte dans ce modèle (Baddeley, 2010).

Une nouvelle version du modèle a été créée par Baddeley (2010). Cette version révisée comprend un quatrième composant : le *buffer* épisodique. Celui-ci est capable de stocker des informations aussi bien visuelles qu'auditives, et permet aux différents composants de la mémoire de travail d'interagir. Cette version révisée du modèle introduit également un nouvel élément : la présence de la mémoire à long terme. Cette version permet de mieux rendre compte des interactions entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme. En effet, Baddeley (2010) avance que la mémoire à long terme pourrait influencer la performance à toutes les étapes de la mémorisation d'informations. Les informations qui

entrent en mémoire de travail sont traitées par des systèmes influencés par la mémoire à long terme. La mémoire de travail est un système interactif complexe qui sert à fournir une interface entre la cognition et l'action. En ce sens, il n'existe pas de tâche pour laquelle interviendrait uniquement la mémoire de travail ou uniquement la mémoire à long terme. Dans chaque situation « les deux systèmes de stockage interviennent mais de manière plus ou moins importante. » (Lieuury, 2005, p. 40).

L'apprentissage commence par le traitement des informations en mémoire de travail. Celles-ci proviennent de la mémoire sensorielle. La mémoire de travail traite et maintient durant une durée limitée les informations, selon leur modalité, dans des sous-systèmes séparés. Le traitement par la mémoire de travail permet le transfert de ces informations en mémoire à long terme. Comme la mémoire de travail, la mémoire à long terme est composée de différents systèmes, qui stockent différents types d'informations, de différentes façons.

## **2. La mémoire à long terme : Structure et apprentissage**

Cette deuxième section concerne le fonctionnement de la mémoire à long terme et l'acquisition de connaissances. La mémoire à long terme correspond au système mnésique dans lequel sont stockées les informations considérées comme apprises ou connues. Contrairement à la mémoire de travail, la capacité quantitative de la mémoire à long terme est supposée illimitée (Blanc & Brouillet, 2003; Reed, 2012). La durée pendant laquelle la mémoire à long terme peut conserver une information est très longue, voire potentiellement illimitée (Reed, 2012).

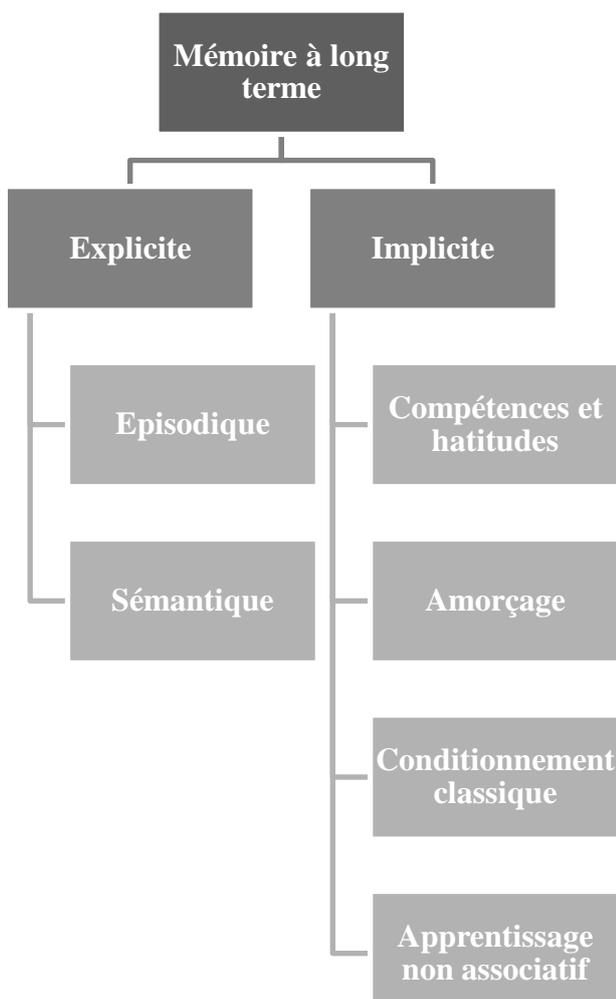
La première sous-section commence par présenter une conception structurale de la mémoire à long terme. Elle distingue la mémoire explicite et la mémoire implicite, en présentant la mémoire procédurale. La seconde sous-section concerne la distinction entre deux types de connaissances : les connaissances biologiquement primaires et biologiquement secondaires, qui seraient apprises de façons différentes.

### **2.1. Mémoire explicite et mémoire implicite**

Selon la conception structurale de la mémoire, la mémoire à long terme n'est pas un système unitaire, mais est constituée de plusieurs sous-systèmes de natures différentes. Chaque système ou sous-système posséderait des caractéristiques propres et stockerait des

types de connaissances distincts des autres systèmes. Ces différents types de connaissances seront également abordés ici.

Considérant qu'il existe différents types de mémoires, Graf et Schacter (1985) divisent la mémoire à long terme en deux parties : la mémoire explicite et la mémoire implicite. Ces auteurs avancent que le rappel d'informations est généralement présumé comme nécessitant une recherche consciente ou explicite. Ce présupposé dérive, selon eux, des tâches mnésiques expérimentales traditionnelles, comme le rappel et la reconnaissance. Cependant, ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, sur une tâche de complétion de mots (les sujets ont pour instruction de compléter des fragments de mots avec les premiers mots qui leurs viennent à l'esprit), les sujets réussissent mieux sur les mots présentés récemment que sur les nouveaux mots (Graf & Schacter, 1985). Dans ce cas le rappel d'information ne découle pas d'une recherche consciente, il provient de la mémoire implicite. Ce type de mémoire est mis en évidence lorsque la performance à une tâche est facilitée par l'absence de recherche consciente en mémoire. La Figure 1 représente le modèle de la mémoire à long



terme de Squire, Knowlton et Musen (1993), en accord avec cette distinction.

En mémoire explicite (Graf & Schacter, 1985) ou mémoire déclarative (Squire, Knowlton & Musen, 1993), le rappel d'informations se déroule de façon explicite, les individus accèdent de manière consciente à l'information stockée en mémoire. Les connaissances déclaratives, qui concernent les informations factuelles ou conceptuelles, sont stockées en mémoire déclarative (Anderson, 2014; Reed, 2012). Certains auteurs distinguent deux types de mémoire déclarative : la mémoire épisodique, qui concerne les événements vécus temporellement datés et les relations

Figure 1. Classification structurale de la mémoire à long terme, adapté de Squire, Knowlton et Musen (1993)

spatio-temporelles entre ces événements, et la mémoire sémantique, qui concerne les informations à propos de mots, de concepts et de connaissances générales sur le monde (Squire, Knowlton & Musen, 1993; Tulving, 1972). La mémoire implicite (Graf & Schacter, 1985) ou mémoire non déclarative (Squire, Knowlton & Musen, 1993) correspondrait à une collection d'habiletés hétérogènes distinctes les unes des autres, et pouvant être rappelées sans recherche consciente en mémoire.

La mémoire procédurale correspond à un type de mémoire implicite. Celle-ci concerne la mémoire des actions, des procédures et des opérations (Reed, 2012). Les procédures sont « des ensembles organisés d'opérations et/ou d'actions à exécuter en vue de transformer un état initial (i.e., la situation de départ) en un état final souhaité (i.e., le but recherché) » (Heurley, 2001a, p.40). L'existence de ce système mnésique a été confirmée par des études sur des patients cérébrolésés. Le premier exemple montrant que l'apprentissage de connaissances procédurales peut se dérouler sans intervention de la mémoire à long terme déclarative est le cas du patient H.M., qui était capable d'améliorer sa performance en pratiquant quotidiennement une tâche de dessin en miroir alors qu'il ne se rappelait pas de l'avoir pratiquée la veille (Milner, 1962). L'acquisition de connaissances procédurales peut, par conséquent se dérouler indépendamment de la mémoire à long terme épisodique, qui concerne les événements vécus. De plus, certains patients amnésiques sont capables d'acquérir des habiletés, alors qu'ils ne parviennent pas à se rappeler ni à acquérir des connaissances factuelles (Reed, 2012). Cohen et Squire (1980) ont, par exemple, montré que des patients amnésiques étaient capables d'apprendre une tâche de lecture en miroir et de maintenir cette habileté pendant plusieurs mois, alors qu'ils ne se rappelaient pas des mots lus. Une autre étude sur des patients amnésiques a montré que ceux-ci pouvaient, en relisant un même passage deux fois, améliorer leur vitesse de lecture sur celui-ci, comme les sujets sains (Musen, Shimamura & Squire, 1990). Cependant, ils avaient des scores beaucoup plus faibles sur le rappel des informations contenues dans le texte. L'acquisition d'habiletés est donc également indépendante de la mémoire sémantique. Ces exemples semblent faire apparaître que la mémoire procédurale est un système distinct de la mémoire explicite ou déclarative.

Il est cependant nécessaire de distinguer l'apprentissage implicite de la mémoire implicite. L'apprentissage implicite désigne la capacité à apprendre incidemment de nouvelles

informations (Meulemans, van der Linden & Perruchet, 1998). La mémoire implicite désigne le système mnésique dans lequel sont stockées les connaissances qui sont rappelées de façon implicite. Même si les connaissances apprises implicitement ont tendance à rester stockées en mémoire implicite, des connaissances apprises explicitement peuvent être stockées ou transférées en mémoire implicite (Meulemans, 2003). L'apprentissage procédural se déroule généralement de façon explicite, mais les connaissances procédurales acquises sont stockées en mémoire implicite.

Pour Squire, Knowlton et Musen (1993), le sous-système qui permet l'acquisition d'habiletés (la mémoire procédurale) serait également responsable de l'acquisition des habitudes. Les habitudes sont des dispositions qui se déclenchent de façon spécifique en réaction à un ensemble de stimuli qui guident l'action. Même si, comme précisé plus haut, les procédures, habiletés et habitudes peuvent être acquises de manière non-consciente et indépendamment de la mémoire explicite, dans la plupart des cas l'acquisition d'habiletés passe par un apprentissage explicite (Squire, Knowlton & Musen, 1993). Des exemples d'apprentissages explicites peuvent être la lecture ou l'écoute d'instructions ou la reproduction intentionnelle de l'action d'une autre personne. Selon Squire, Knowlton et Musen (1993) si l'information concernant l'habileté en acquisition est accessible à la conscience, alors la performance est susceptible d'être augmentée par l'application de stratégies de mémorisation déclarative. De nombreux essais sont généralement nécessaires pour acquérir un savoir procédural (Ten Berge & van Hezewijk, 1999). Lorsque la connaissance procédurale est parfaitement acquise (avec un apprentissage implicite ou explicite), elle est stockée en mémoire implicite et devient plus facilement et plus rapidement accessible de façon implicite.

## **2.2. Connaissances biologiquement primaires ou secondaires**

Certains auteurs avancent une distinction dans la façon dont les connaissances sont apprises et stockées en mémoire à long terme. Il est généralement admis que l'apprentissage implique la mémoire de travail, qui possède une capacité limitée. Toutefois, Geary (1995) différencie deux types de connaissances en se basant sur une perspective évolutionniste (Figure 2) : les connaissances biologiquement primaires et les connaissances biologiquement secondaires. Certains principes sous-tendent la théorie de Geary (2008). Tout d'abord, l'idée que l'esprit et le cerveau ont évolué pour faciliter le traitement de certaines informations et

ainsi, faciliter l'apprentissage de certaines connaissances nécessaires pour la survie de l'espèce. Puis l'idée que la mémoire de travail ne serait pas sollicitée de la même façon pour les deux types de connaissances.

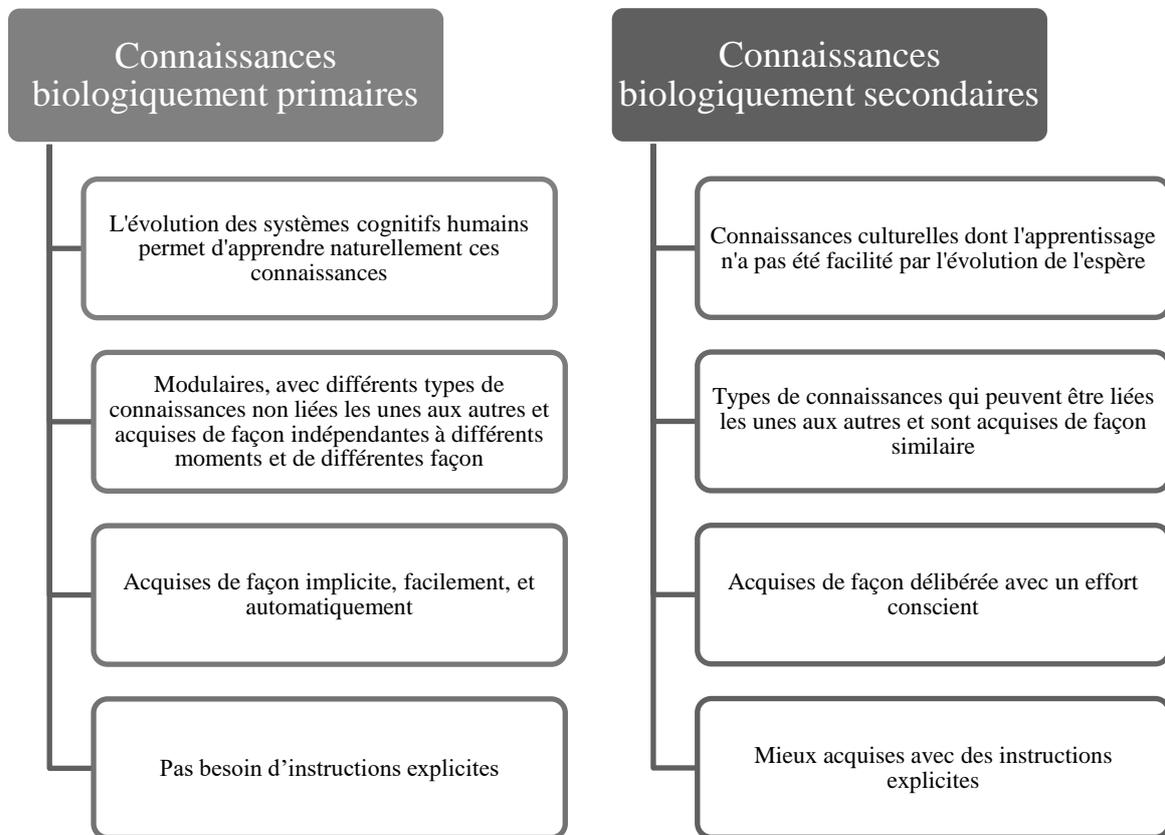


Figure 2. Distinctions entre les connaissances biologiquement primaires et secondaires (Inspiré de Paas & Sweller, 2014, p. 29)

Les connaissances biologiquement primaires, ou connaissances primaires, sont les habiletés que l'être humain acquiert naturellement, et facilement, elles résultent de l'évolution de notre espèce : écouter, parler, reconnaître des visages, etc. Celles-ci se retrouvent dans toutes les cultures et également chez des espèces similaires à l'être humain (Geary, 1995). Les limitations de la mémoire de travail ne s'appliqueraient pas à celles-ci, car les systèmes cognitifs humains auraient évolué, par des moyens de sélection naturelle ou sexuelle, pour apprendre naturellement ce type de connaissances (Geary, 1995, 2002, 2008, 2011; Paas & Sweller, 2012; Sweller, 2016; Tricot & Sweller, 2014). Les connaissances primaires sont acquises facilement, automatiquement et inconsciemment. Ce type de connaissances est par conséquent toujours appris de façon implicite et stocké en mémoire implicite. L'apprentissage et le maintien de ce type de connaissances ne nécessiteraient ni

enseignement explicite de la part d'autres personnes, ni pratique formelle répétée et soutenue (Geary, 1995; Sweller, 2016). Même si les connaissances primaires ne nécessitent pas d'enseignement explicite, cela ne signifie pas qu'elles ne nécessitent pas d'expérience pour se développer (Geary, 1995; Paas & Sweller, 2012). C'est la combinaison des systèmes cognitifs humains ayant évolué pour le développement des connaissances primaires et la réalisation des activités associées qui permet l'apprentissage.

Les connaissances biologiquement secondaires, ou connaissances secondaires, représentent la vaste quantité de connaissances et compétences nécessaires dans le milieu social ou écologique dans lequel un groupe est situé et ne sont pas directement liées aux processus d'évolution (Geary, 1995, 2008; Paas & Sweller, 2012). Elles se développeraient uniquement dans des contextes culturels spécifiques. Contrairement aux connaissances primaires, les connaissances secondaires sont soumises aux limites de la mémoire de travail (Sweller, 2016). Elles ne sont pas apprises naturellement. Cela signifie que l'acquisition des connaissances secondaires est liée à un apprentissage explicite, dans un contexte formel ou informel (transmission par les parents, par l'école...). Ce type de connaissances est appris explicitement, mais peut devenir implicite avec le temps, c'est par exemple le cas de la lecture. La lecture est considérée comme une connaissance secondaire, car elle n'est pas présente dans toutes les cultures. L'apprentissage de la lecture nécessite un enseignement explicite, répété et soutenu. Son acquisition est en général lente et demande des efforts conscients de l'apprenant. C'est le résultat de pratiques délibérées conçues spécifiquement pour enseigner ces compétences ou connaissances, avec des instructions explicites, systématiques et organisées (Geary, 2008). Ce qui diffère fondamentalement dans l'apprentissage de ces deux types de connaissances est le besoin d'instructions et d'un apprentissage explicite et soutenu pour le développement des connaissances secondaires. Celles-ci sont soumises aux limites de la mémoire de travail. Cependant, leur stockage en mémoire à long terme et leur automatisation sont susceptibles de libérer des ressources en mémoire de travail (Geary 2002, 2008).

L'acquisition des connaissances secondaires constitue un processus qui ne se réduit pas à un simple passage de la mémoire de travail à la mémoire à long terme. En effet, il existe différents systèmes de stockage en mémoire à long terme et différents types d'informations. Ces derniers ne sont pas tous appris ni stockés de façon identique. Certaines caractéristiques

communes à tout type d'apprentissage existent cependant. Pour faciliter la récupération de l'information et son utilisation, il est nécessaire que l'information soit stockée de façon systématique et structurée (Baddeley, 1990). De nombreux auteurs font l'hypothèse que les connaissances et compétences sont organisées dans des ensembles structurés et hiérarchisés. Ces ensembles organisés seraient particulièrement caractéristiques des experts.

### **3. Dépasser les limites de la mémoire de travail**

L'observation d'experts en activité a montré que les limites de la mémoire de travail ne sont pas aussi succinctes qu'il y paraît. En effet, les activités expertes semblent dépasser les limites de ce que permet la mémoire de travail (Chase & Ericsson, 1982; Koedinger & Anderson 1990). Puisque les experts peuvent réaliser des activités qui paraissent dépasser les limites de la mémoire de travail, plusieurs auteurs ont étudié ce qui différencie les experts et les novices (Chase & Ericsson, 1982; de Groot, 2008; Didierjean, Ferrarri & Cauzinille-Marmèche, 2004; Ericsson, 2017; Gobet & Simon, 1996). Cette différence semble se situer dans les structures de connaissances organisées construites progressivement lors de l'apprentissage (de Groot, 2008; Ericsson, 2017; Paas & Sweller, 2012).

Cette section aborde tout d'abord, la façon dont les experts peuvent traiter et stocker en mémoire de travail de très grandes quantités d'information. Puis, la seconde sous-section développe comment le stockage et l'organisation des informations en mémoire à long terme, sous forme de schémas, peuvent permettre d'augmenter la quantité d'informations traitées en mémoire de travail.

#### **3.1. L'effet de la mémoire experte**

Un grand nombre d'études sur la mémoire des experts concerne spécifiquement l'expertise aux échecs (Chase & Simon, 1973; de Groot, 2008; Gobet & Simon, 1998). Les recherches les plus connues sont celles initiées par de Groot (1946). Lors de ces expériences, des joueurs de différents niveaux se voyaient présenter des échiquiers tirés de parties réelles. Chaque sujet devait jouer le coup suivant, en prenant le temps d'y réfléchir comme s'il s'agissait d'une partie réelle. Les sujets avaient également pour consigne de verbaliser au maximum leurs réflexions. L'objet de l'expérience concernait l'analyse de la façon dont le joueur résolvait le problème, à travers l'analyse de ses verbalisations. Les résultats ne montraient pas de différence majeure dans la façon de penser des experts et des novices dans le domaine des

échecs : le nombre de coups étudiés, les heuristiques de recherche, la profondeur de la recherche, etc. En revanche, les experts trouvaient rapidement le « bon » coup à considérer, alors que des joueurs novices passaient beaucoup de temps à analyser les conséquences de mauvais coups. De Groot (2008) a émis plusieurs hypothèses. Tout d'abord, les experts du jeu d'échecs posséderaient des connaissances plus vastes que les novices dans leur domaine d'expertise. Cependant, la quantité supérieure de connaissances des experts n'est pas suffisante pour expliquer ce qui les différencie des novices (de Groot, 2008). Les verbalisations analysées par de Groot (1946) font apparaître que les experts et les joueurs moins avancés se distinguent par la capacité des experts à sélectionner de manière automatique, en quelques secondes, les méthodes de jeu possibles. La configuration de jeu présentée sur un échiquier déclencherait l'activation de ce que l'auteur appelle de *grands complexes*, qui contiendraient des configurations d'échiquier particulières. Leur activation permettrait d'activer un ensemble de méthodes de jeu possibles. C'est le stockage d'informations biologiquement secondaires en mémoire à long terme sous forme de grands complexes qui constituerait l'expertise (Paas & Sweller, 2014). En conséquence, leurs habiletés de résolution de problèmes seraient déterminées par les informations en mémoire à long terme concernant des états de problèmes et le meilleur coup associé à chaque état. Ces connaissances en mémoire à long terme permettraient aux experts de reconnaître immédiatement la plupart des situations et les actions pertinentes.

Ces *grands complexes* correspondent à ce que Chase et Simon (1973) ont appelé les *chunks*. Poursuivant les recherches initiées par de Groot sur l'expertise dans le domaine des échecs, ils ont présenté à un expert, à un joueur de bon niveau et à un débutant, des échiquiers sur lesquels étaient disposées 25 pièces. Les participants devaient replacer un maximum de pièces correctes à la bonne position après 5 secondes d'observation. Deux types d'échiquiers étaient étudiés : des échiquiers réalistes, présentant des configurations tirées de parties réelles et susceptibles de se produire lors d'une partie, et des échiquiers aléatoires, sur lesquels les pièces étaient disposées aléatoirement sans suivre la logique du jeu d'échec. Lorsque les échiquiers présentaient des configurations aléatoires, il n'y avait aucun lien entre le nombre de pièces correctement rappelées et le niveau d'expertise aux échecs. L'expert ne présentait donc pas une capacité mnésique supérieure aux autres participants. En revanche, lorsque les échiquiers présentaient des configurations réalistes, l'expert était capable de

rappeler davantage de pièces que le joueur de bon niveau et beaucoup plus que le novice. Chase et Simon (1973) ont conclu que les capacités supérieures de l'expert étaient restreintes à son domaine d'expertise et ne se généralisaient pas à d'autres types d'informations (Ericsson, 2017).

Ce que les experts garderaient en mémoire à court terme serait un identifiant sous lequel serait encodée une configuration familière contenant plusieurs pièces. Cette configuration représenterait un *chunk*. Pour Chase et Simon (1973), un expert face à un échiquier réaliste reconnaît des pièces et des configurations familières. Pour ce faire, il utilise ses connaissances stockées en mémoire à long terme. Puis, les informations reconnues sont transférées en mémoire à court terme. Ces informations sont stockées sous forme d'identifiant, de *chunk*. Les connaissances en mémoire à long terme permettent un encodage rapide en mémoire à court terme des pièces mais également, de par leur valeur sémantique, permettent de donner du sens aux configurations perçues. Lorsqu'ils doivent réaliser le rappel, les experts utilisent ces identifiants pour retrouver les configurations. La différence entre experts et novices réside dans le fait que les experts reconnaissent plus vite une configuration comme étant une unité (un *chunk*) et que la taille de ces *chunks* est plus importante, contenant plus de pièces que chez les joueurs moins expérimentés (Chase & Simon, 1973).

La reconnaissance automatique de la situation sur le plateau permet au joueur expert de « voir » directement la solution. Les systèmes extensifs de connaissances et d'expériences, largement connectés et hautement organisés de l'expert, lui permettent de reconnaître immédiatement une position d'échec comme relevant d'une catégorie spécifique avec des solutions correspondantes qui peuvent être appliquées. Grâce à cela, les experts peuvent choisir immédiatement la bonne méthode menant au but, car ils reconnaissent le problème et l'état d'avancement du problème grâce à leurs expériences précédentes. Ils savent quelles actions sont appropriées. Cette « intuition » d'expérience est, selon de Groot (2008), différente de la connaissance, même si les deux sont acquises par la pratique. L'auteur considère ce savoir-faire comme une habileté procédurale non verbalisable, actualisée dans les situations dans lesquelles elle est utilisée. De Groot (2008) lie en cela le système de pensée d'un expert des échecs aux systèmes d'habitudes motrices automatiques des experts de billard ou de tennis. Pour de Groot (2008), ce système de pensée serait composé de liens

construits par des années d'expérience dans un domaine. C'est cette expérience qui créerait une différence entre les experts et les autres : « *Chess memory is equivalent to a specifically developed professional memory in other fields and it is based on "nothing more than" routine and experience. But [...] this experience is not the obvious, not the ordinary thing that can be taken for granted, but precisely the most fundamental and distinguishing hallmark of the master.* »<sup>1</sup> (de Groot, 2008, p. 321). Si l'expert perçoit des configurations relativement larges comme des unités (ce que de Groot nomme *grands complexes*) c'est parce que ce sont des configurations typiques dans sa pratique. Ces configurations ne peuvent devenir typiques, et par conséquent être considérées comme des unités, que si l'expert les a rencontrées un grand nombre de fois grâce à une pratique répétée (de Groot, 2008). L'avantage des experts est spécifique à leur domaine et ne se généralise pas à d'autres domaines ou activités (Ericsson, 2017).

### **3.2. Construction et automatisation des schémas**

Les grands complexes présentés par de Groot renvoient à une idée courante dans la littérature sur la mémoire, comme le concept de *chunks* de Chase et Simon (1973), d'unités *cognitives* d'Anderson (1983), de *templates* (Gobet & Simon, 1998) ou encore de *schémas* (Dixon, 1987 ; Paas & Sweller, 2012 ; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Ces concepts renvoient tous à l'idée que les connaissances et compétences sont organisées dans des ensembles structurés et hiérarchisés en mémoire à long terme. Ces ensembles organisés se développeraient au fur et à mesure de l'apprentissage, et seraient particulièrement développés et efficaces chez les experts. Ces ensembles pourraient être utilisés par la mémoire de travail comme un seul élément, ce qui permettrait de dépasser la limite quantitative de celle-ci. Dans cette sous-section ces différents concepts seront présentés en insistant plus précisément sur le concept de schéma.

Anderson (1983), présente l'organisation des éléments en mémoire comme des structures larges, composées de nombreux liens associés. Le terme d'unités cognitives est utilisé pour désigner des unités de mémoire. Une unité cognitive comprend un ensemble d'éléments et un nœud principal, qui est la partie centrale de l'unité cognitive et qui lie les éléments entre

---

<sup>1</sup> « La mémoire des échecs est équivalente à une mémoire professionnelle développée spécialement pour d'autres domaines et elle n'est basée sur "rien de plus que" la routine et l'expérience. Mais [...] cette expérience n'est pas une évidence, une chose ordinaire que l'on peut considérer comme acquise, mais précisément la marque de fabrique la plus fondamentale et la plus distinctive du maître. » Notre traduction.

eux. Les unités cognitives peuvent être organisées hiérarchiquement entre elles, car une unité cognitive peut constituer un élément d'une unité cognitive supérieure. Ces unités cognitives servent à stocker et à récupérer les informations : lorsqu'une unité cognitive est stockée en mémoire à long terme c'est l'unité entière qui est stockée. Lorsque cette unité est récupérée pour un usage en mémoire de travail, tous les éléments qui la composent sont récupérés en même temps (Anderson, 1983). Une caractéristique essentielle de ces unités cognitives pour Anderson (1983) est qu'elles sont limitées dans le nombre d'éléments qu'elles peuvent contenir, soit environ cinq éléments. Pour Anderson, une phrase simple peut être une unité cognitive, mais un poème ou une chanson ne peuvent pas être encodés comme une seule unité cognitive.

D'autres auteurs, comme Chase et Simon (1973), ont également essayé de définir la quantité d'informations que pourrait contenir une unité cognitive, qu'ils désignent sous le terme de *chunk*. À la base de leur théorie, les *chunks* sont des symboles en mémoire à long terme, ayant des sous-parties et propriétés arbitraires, qui peuvent être utilisées comme des unités de traitement par la mémoire de travail. Chaque *chunk* peut être récupéré en un seul acte de reconnaissance. Les *chunks* permettent de dépasser les limites de la mémoire de travail, car celles-ci s'appliqueraient au nombre de *chunks* traités, plutôt qu'à la quantité d'informations contenues dans ceux-ci. Dans une série d'expériences avec des joueurs d'échecs, Chase et Simon (1973) ont défini un *chunk* comme une séquence de pièces placées avec des intervalles entre les pièces de moins de deux secondes. Les pièces d'un même *chunk* étaient placées avec des intervalles courts entre les pièces, alors qu'un intervalle temporel plus long séparait deux *chunks*. Ces *chunks* représentent alors en moyenne 4 pièces et peuvent s'étendre jusqu'à 8 pièces. Cependant, Gobet et Simon (1998) ont montré que les experts avaient une capacité de rappel incompatible avec l'interprétation de la taille des *chunks* de Chase et Simon (1973). Dans une expérience, Gobet et Simon (1998) ont confronté des joueurs d'échecs de niveaux d'expertise différents à une tâche de rappel de pièces sur un plateau d'échec. Comme Chase et Simon (1973), ils ont remarqué que la séparation entre deux *chunks* était visible par un délai temporel plus long entre le rappel d'un *chunk* et du suivant. Selon Gobet et Simon (1998) la taille des *chunks* définie par Chase et Simon (1973) était limitée parce que les participants devaient placer les pièces à la main sur l'échiquier et étaient, par conséquent limités par la capacité de leurs mains. Ils ont utilisé

un programme informatique, permettant aux participants de sélectionner et placer les pièces très rapidement sur un même écran, pour passer outre cette limite. Les résultats de cette étude font apparaître que le nombre de pièces moyen par *chunk* est de 16 pour les experts. Gobet et Simon (1998) pensent que ce nombre peut augmenter.

Il est nécessaire de considérer qu'un *chunk* n'est pas simplement une unité utilisée en mémoire de travail. Si des éléments peuvent être utilisés comme un *chunk* en mémoire de travail c'est qu'ils sont considérés comme un élément unique en mémoire à long terme. Si une date comme 1914 peut être considérée comme un *chunk*, c'est que cette date représente un élément en mémoire à long terme (Miller, 1956). Les grands complexes décrits par de Groot (2008) fonctionnent de façon similaire. Si les experts sont capables de considérer une grande quantité de pièces comme un seul élément, c'est que cette formation est présente en mémoire à long terme.

Le concept de *schémas* renvoie également à ces éléments qui permettent de dépasser les limites de la mémoire de travail. L'apprentissage permet, en plus du stockage d'informations en mémoire à long terme, deux mécanismes importants qui permettent de dépasser la capacité et la durée de rétention de l'information en mémoire de travail lorsque sont traitées des informations familières stockées et organisées en mémoire à long terme plutôt que des informations nouvelles provenant de l'environnement (Ganier & de Vries, 2016; Paas & Sweller, 2012).

Le premier mécanisme serait la construction de schémas (Sweller, 1994; Tricot, 1998). Suivant la théorie de l'effet de la mémoire experte, Sweller, van Merriënboer et Paas (1998) avancent que les habiletés intellectuelles seraient liées à la construction d'un grand nombre de schémas, de plus en plus sophistiqués, et ayant de hauts niveaux d'automatisation. Les schémas combinent des éléments multiples qui peuvent être traités comme des éléments indépendants, ce qui permet d'ignorer une myriade d'éléments hors sujet. Pour Dixon (1987) un schéma peut être vu comme une description prototypique, mais contenant des variables ou des *espaces vides*. En y plaçant différentes valeurs, un schéma d'action peut être adapté à une situation particulière. Par exemple, un individu peut avoir un schéma « Mesurer un liquide » pour la cuisine. Le schéma pourrait être « Verser [ingrédient] dans le verre doseur jusqu'à ce qu'il indique [quantité] ». Ici « [ingrédient] » et « [quantité] » sont

des variables qui peuvent être remplacées par certaines valeurs. En y plaçant les valeurs appropriées, on peut utiliser ce schéma pour mesurer 150ml de lait, 1L d'eau ou n'importe quelle autre combinaison d'ingrédients et de quantité (Dixon, 1987). Ces schémas, stockés en mémoire à long terme, modifient notre habileté à traiter des informations. Alors que la mémoire de travail est généralement limitée en nombre d'éléments qu'elle peut traiter, si ces éléments sont des schémas, ils peuvent consister en de nombreux éléments de bas niveau qui interagissent entre eux, organisés et stockés en mémoire de travail. Les schémas permettent, en organisant l'immense quantité d'éléments informationnels en mémoire à long terme, de fournir du sens et de catégoriser l'information dans des unités simples et facilement récupérables en mémoire (Gyselinck, Jamet & Dubois, 2008; Jamet, Le Bohec & Hidrio, 2003). S'ils étaient traités séparément, ces éléments excéderaient largement la capacité de la mémoire de travail (Paas & Sweller, 2012). Les schémas permettent donc de libérer de l'espace de traitement en mémoire de travail, en catégorisant plusieurs éléments comme un seul.

Le deuxième mécanisme important qui permet l'apprentissage pour dépasser les limites de la mémoire de travail est l'automatisation de schémas (Ganier & de Vries, 2016; Sweller, 1994). On suppose que la façon dont toute information est traitée peut être contrôlée ou automatique (Shiffrin & Schneider, 1977). Le traitement contrôlé apparaît lorsque les informations disponibles sont prises en compte de manière consciente. Toute activité cognitive qui requiert une pensée délibérée est contrôlée. Les traitements automatiques contournent majoritairement la mémoire de travail et fonctionnent indépendamment du contrôle attentionnel de l'individu. L'automatisme se produit grâce à un entraînement intensif (Shiffrin & Schneider, 1977). Avec du temps et de la pratique, les processus cognitifs nécessaires pour réaliser une tâche deviennent progressivement automatisés. Ces processus peuvent devenir complètement automatiques, libérant ainsi des ressources cognitives pour d'autres activités (Gyselinck, Jamet & Dubois, 2008). L'utilisation d'un schéma peut également devenir plus ou moins automatisée (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Contrairement à certains auteurs comme Anderson (1983), pour qui une unité cognitive est acquise ou ne l'est pas, Sweller (1994) insiste sur le caractère progressif et non dichotomique de l'acquisition des schémas. En effet, comme pour la plupart des compétences, au début de l'acquisition, la capacité de l'individu à utiliser un schéma est

souvent restreinte. Les schémas sont acquis de façon graduelle et incrémentielle à travers la répétition. Même si la littérature scientifique a tendance à considérer les traitements contrôlés et automatiques comme étant séparés, la transition d'un traitement contrôlé à un traitement automatique est lente et progressive (Sweller, 1994; Tricot, 1998). Les schémas sont donc progressivement automatisés par les individus en situation d'apprentissage, ce qui augmenterait la capacité de la mémoire de travail (Paas & Sweller, 2012). Pour illustrer ce phénomène progressif, Tricot (1998) donne l'exemple de l'apprentissage de la résolution de multiplications. La méthode de résolution est apprise petit à petit, puis constitue un schéma. Au début, l'apprenant a besoin d'engager une réflexion consciente pour résoudre le problème, puis à force de répétitions le schéma s'automatise et l'apprenant n'a plus besoin de contrôle cognitif pour l'appliquer. Grâce aux schémas et à leur automatisation, une part de la capacité de la mémoire de travail est libérée, permettant ainsi la réalisation de certains processus susceptibles de la surcharger. Les schémas automatisés permettent une réalisation plus fluide sur les aspects familiers de la tâche et, en libérant de l'espace en mémoire de travail, permettent d'accorder davantage de ressources à la réalisation d'aspects non familiers de la tâche (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998).

#### **4. Conclusion**

Pour acquérir des connaissances procédurales ou déclaratives biologiquement secondaires il est nécessaire d'encoder des informations en mémoire à long terme. Grâce à la pratique répétée et à l'expérience, cet apprentissage va permettre de créer des schémas, qui vont eux-mêmes permettre de réaliser des tâches qui seraient difficiles à réaliser sans schémas préalables. La création de schémas permet de traiter de nombreux éléments comme l'équivalent d'un élément unique (Bobis, Sweller & Cooper, 1993). Un schéma peut être utilisé en mémoire de travail comme une seule unité, quelle que soit la quantité d'informations contenue dans celui-ci. L'activation d'un schéma faciliterait l'activation des informations liées. Ces schémas peuvent être progressivement automatisés, ce qui permet qu'ils soient activés sans nécessiter de contrôle conscient de l'individu. La création de schémas et leur automatisation progressive permettent de réduire la capacité utilisée de la mémoire de travail tout en traitant un grand nombre d'informations.

Pour acquérir des connaissances secondaires et les organiser sous forme de schémas, les individus ont besoin d'un apprentissage explicite. Cet apprentissage se déroule très souvent

dans un contexte éducatif formel. Dans ce cas l'apprentissage peut s'effectuer grâce à des instructions données sous de nombreuses formes par un formateur, par des documents pédagogiques ou par une combinaison des deux. De ces connaissances sur le fonctionnement de la mémoire de travail, de la mémoire à long terme et de l'apprentissage découle l'idée que, pour rendre l'apprentissage plus efficace, il est nécessaire de tenir compte des limites de la mémoire de travail afin d'éviter que celle-ci soit surchargée. Le transfert des informations en mémoire à long terme doit également être facilité. Enfin, pour que les connaissances construites en mémoire à long terme soient utilisées de façon plus efficace et moins coûteuse cognitivement, la création de schémas doit être facilitée (Sweller, 2016).

En se basant sur l'architecture cognitive humaine, certains auteurs cherchent à comprendre comment les apprenants traitent les documents pédagogiques (Blayney, Kalyuga & Sweller, 2010; Mayer, 1997, 2014; Sweller 2006, 2016; Yeung, Jin & Sweller, 1997). Dans le chapitre suivant nous étudierons les traitements cognitifs réalisés par les apprenants afin d'améliorer les situations d'apprentissage et les documents pédagogiques.



## CHAPITRE 2 – PRINCIPES DE PSYCHOLOGIE COGNITIVE POUR LA CONCEPTION DE *E-LEARNING*

Une grande part de l'apprentissage de connaissances secondaires repose sur des instructions, transmises par des formateurs et/ou des documents pédagogiques. Ce chapitre s'intéresse en particulier aux documents pédagogiques ainsi qu'aux particularités de l'apprentissage en ligne, dans lequel les documents à disposition de l'apprenant représentent le seul vecteur d'information. Pour concevoir des cours en *e-learning*, il est donc nécessaire de prendre en compte l'architecture cognitive humaine et la façon dont les apprenants traitent les documents pédagogiques. La capacité limitée de la mémoire de travail constitue l'un des premiers éléments à prendre en compte. En effet, l'apprentissage nécessite le traitement d'instructions et la mémoire de travail réalise celui-ci (Ganier, 2000, 2002; Ganier, Gombert & Fayol, 2000). La première section de ce chapitre concerne la théorie de la charge cognitive de Sweller (1994). Elle débute par la présentation de l'architecture cognitive humaine telle que la conçoit cet auteur, puis elle traite des différents types de charge cognitive et de leurs effets sur l'apprentissage. L'objectif de la deuxième section est de présenter les différents processus impliqués dans l'apprentissage multimédia, en s'appuyant sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014). Enfin, ce chapitre propose de faire un point sur les apports et spécificités de l'apprentissage en ligne ou *e-learning*, pour comprendre comment utiliser les apports de la psychologie cognitive pour construire ces environnements pédagogiques.

### 1. La théorie de la charge cognitive

Le concept de charge cognitive représente l'idée que, du fait d'une capacité limitée, la mémoire de travail ne peut traiter qu'une certaine quantité d'éléments simultanément (Sweller, 2016). Les éléments que la mémoire de travail traite représentent la *charge cognitive* à laquelle elle est soumise. Pour Chanquoy, Tricot et Sweller (2007, p.7) « cette notion correspond à une sorte de sensation que chaque être humain éprouve régulièrement : alors que certaines activités mentales sont très facilement effectuées, d'autres nécessitent des efforts ; d'autres enfin, malgré tous ces efforts, restent très difficiles, très longues, voire impossible à réaliser ».

Cette section commence par développer la théorie du fonctionnement de l'architecture cognitive humaine de Sweller (2006, 2016) qui explique comment le traitement et l'apprentissage des connaissances secondaires se déroulent en mémoire et dans les activités des individus. Dans une deuxième sous-section, la théorie de la charge cognitive, construite à partir de ce fonctionnement, sera développée.

### 1.1. Architecture cognitive humaine

Sweller a décrit cinq principes de fonctionnement de l'architecture cognitive humaine (Blayney, Kaluyga & Sweller, 2010; Sweller, 2006, 2016). Ces principes sont dérivés de ses travaux sur l'apprentissage à l'aide de documents multimédias (Figure 3). Ils sous-tendent sa théorie de la charge cognitive. Le premier correspond au *principe de banque d'informations*. Selon cet auteur, pour interagir avec un environnement complexe et changeant constamment, le système cognitif humain requiert une grande capacité de stockage. C'est la mémoire à long terme. La cognition humaine est dominée par cette banque d'informations acquises précédemment. La majorité des activités humaines (ce que nous percevons, pensons, comment nous résolvons des problèmes... etc.) est gouvernée par les contenus de la mémoire à long terme (Blayney, Kaluyga & Sweller, 2010).

#### Principe de banque d'information

- La cognition et la majorité des activités humaines sont dominées par le contenu de la mémoire à long terme.

#### Principe d'emprunt et de réorganisation

- La majorité des connaissances en mémoire à long terme sont empruntées des mémoires à long terme d'autres personnes puis réorganisées.

#### Principe de genèse aléatoire

- Les informations nouvelles sont créées par un processus de genèse aléatoire de solutions et de test. Les résultats peuvent être ensuite stockés en mémoire à long terme.

#### Principe des limites étroites du changement

- Les limites de la mémoire de travail assurent que de grandes quantités d'informations ne soient jamais traitées en même temps pour protéger les informations en mémoire à long terme.

#### Principe de lien et d'organisation environnementaux

- La mémoire de travail peut traiter sans limites les informations en provenance de la mémoire à long terme rappelées par les indices environnementaux et les utiliser pour lier et organiser les informations en mémoire de travail.

Figure 3. Principes de fonctionnement de l'architecture cognitive selon Paas et Sweller (2014)

Le deuxième principe correspond au *principe d'emprunt et de réorganisation*. Pour Sweller (2006), la grande majorité des connaissances en mémoire à long terme d'un individu a été « empruntée » aux mémoires à long terme d'autres individus. Cela signifie que l'être humain apprend des autres êtres humains, en imitant ce qu'ils font, en écoutant ce qu'ils disent ou en lisant ce qu'ils écrivent. Cette propension à « emprunter » de l'information aux autres est une connaissance biologiquement primaire, mais les informations transmises par ce biais sont biologiquement secondaires. Ces informations qui sont alors stockées dans la mémoire de l'individu ne sont pas reproduites précisément, elles sont réorganisées, en combinant les nouvelles informations avec les informations préalablement stockées en mémoire à long terme.

Le troisième principe se nomme la *genèse aléatoire*. Une autre façon d'obtenir de l'information, quand celle-ci n'est pas accessible en mémoire à long terme ou depuis la mémoire à long terme d'un autre individu, est de la créer soi-même. Des informations nouvelles sont créées en situation de résolution de problèmes par un processus de genèse aléatoire et de test. Pour résoudre un problème, l'individu génère aléatoirement des solutions dont il teste ensuite l'efficacité. Les résultats de ces tests sont des informations qui peuvent ensuite être stockées en mémoire à long terme (Sweller, 2006).

Le quatrième principe est très lié au précédent et correspond aux *limites étroites du changement*. La genèse de connaissances par le test de solutions générées aléatoirement pourrait avoir tendance à combiner trop d'éléments. Les limites de la mémoire de travail assurent que de grandes quantités d'informations ne sont jamais traitées en même temps. Ainsi la mémoire de travail agit comme un entonnoir entre l'environnement extérieur et le stockage d'informations qu'est la mémoire à long terme. Elle présente des limites, largement étudiées, quand il s'agit de traiter de nouvelles informations biologiquement secondaires. Dans la mesure où seul un nombre réduit d'informations peuvent être traitées simultanément en mémoire de travail, tout changement en mémoire à long terme est également limité. Restreindre les limites du changement permet ainsi de réduire les chances de modifier rapidement les schémas en mémoire à long terme avec de nouvelles informations non pertinentes. Ces structures de connaissances ont été construites sur de longues périodes de temps, limiter leur changement permet de les protéger. Pour Sweller

(2016) la limitation de la mémoire de travail est donc nécessaire pour le fonctionnement cognitif humain.

Le dernier principe se nomme le *principe de lien et d'organisation environnementaux*. Il gouverne la façon dont la mémoire de travail fonctionne lorsqu'il s'agit d'ajouter ou d'utiliser les informations préalablement stockées en mémoire à long terme (Sweller, 2006, 2016). Ce principe correspond au fait que les signaux de l'environnement indiquent les informations à rappeler depuis la mémoire à long terme. Ces informations sont utilisées pour diriger l'activité. Alors que la mémoire de travail est limitée en capacité et en durée quand il s'agit d'ajouter des informations en mémoire à long terme, ces limites ne s'appliquent plus quand il s'agit de rappeler un grand nombre d'informations de la mémoire à long terme. La mémoire de travail peut traiter sans limites ces informations en provenance de la mémoire à long terme, permettant une combinaison entre mémoire de travail et mémoire à long terme pour lier et organiser les informations.

Sweller s'appuie sur ces cinq principes de fonctionnement, pour expliquer le traitement et l'apprentissage des connaissances secondaires et construire sa théorie de la charge cognitive. Sur cette base, Sweller (1994) avance que la fonction principale des instructions est de modifier le contenu de la mémoire à long terme en créant des schémas et en les automatisant. La mémoire de travail peut ainsi utiliser les informations stockées en mémoire à long terme pour réaliser des activités qui, sans cela, seraient impossibles. Cependant, l'utilisation des instructions se déroule avant que l'information qu'elles contiennent ne soit transférée en mémoire à long terme. Avant de pouvoir être stockées, ces informations doivent être traitées en mémoire de travail. Après avoir été stockées, elles pourront être utilisées pour guider l'action, en utilisant une fois encore la mémoire de travail. A ce moment, les limites de la mémoire de travail ne s'appliqueront plus. Pour que les documents pédagogiques soient efficaces, ils doivent considérer les limites de la mémoire de travail quand il s'agit de traiter des informations nouvelles. La prise en compte des capacités limitées de la mémoire de travail lors de la conception d'instructions est une considération majeure de la théorie de Sweller (2016).

### **1.2. Charge cognitive, charges cognitives**

Lors de l'apprentissage, le traitement d'informations nouvelles prend une « certaine place » en mémoire de travail, impose une certaine charge cognitive. La charge cognitive imposée

par une tâche correspond à la quantité de ressources mentales mobilisées au cours de la réalisation de cette tâche pour le traitement du matériel pédagogique et des informations devant être apprises. La limite à partir de laquelle la mémoire de travail devient surchargée est individuelle et multifactorielle, car il est nécessaire de tenir compte des instructions, des tâches réalisées, des informations traitées (Chanquoy, Tricot & Sweller, 2007). La charge cognitive dépend du nombre d'activités qui doivent être réalisées, du nombre d'éléments qui doivent être traités simultanément en mémoire de travail et des caractéristiques de l'apprenant. Un élément correspond à toute chose qui doit être apprise ou a dû être apprise (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). La mémoire de travail étant limitée dans les situations où l'individu doit traiter de nouvelles informations, la charge cognitive imposée par celles-ci est susceptible de la surcharger. Dans la conception de documents, il est généralement admis que la charge cognitive induite par le traitement des informations contenues dans le document doit être adaptée aux limites de la mémoire de travail et au niveau d'expertise de l'apprenant (Fraser, Ayres & Sweller, 2015).

Sweller (2010) distingue plusieurs types de charge cognitive (Tableau 1). Une première distinction est faite entre charge cognitive intrinsèque et charge cognitive extrinsèque. La charge cognitive peut être impactée par la structure et la nature intrinsèque de l'information qui doit être comprise et du matériel qui doit être appris, on parle alors de charge cognitive intrinsèque (Sweller, 2010). Certains documents pédagogiques demandent aux apprenants une forte activité cognitive parce que l'information à traiter est complexe : il s'agit ici de charge cognitive intrinsèque. La charge cognitive intrinsèque dépend du nombre d'éléments à apprendre qui doivent être traités simultanément en mémoire de travail, et ce nombre dépend de l'interactivité des éléments (Sweller, 1994, 2010; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Le niveau d'interactivité, ou de connectivité des éléments, représente à quel point la prise en compte des relations entre les éléments est nécessaire pour leur apprentissage. Les éléments sont en interaction s'ils sont liés entre eux de telle façon qu'il faille obligatoirement les apprendre simultanément. Des éléments qui interagissent peu peuvent être appris de façon isolée. Si l'apprenant doit traiter de nombreux éléments de niveau d'interaction élevé, le nombre d'éléments qui doivent être traités simultanément en mémoire de travail sera élevé. Par exemple, pour comprendre le fonctionnement d'un moteur, l'apprenant doit considérer le fonctionnement de chaque pièce mécanique mais

également leur interaction avec les autres. La charge cognitive intrinsèque sera alors élevée. Une faible interactivité des éléments permet d'apprendre ceux-ci de façon sérielle plutôt que simultanément. Par exemple, une tâche d'orthographe portant sur l'apprentissage de mots sera une tâche à faible interactivité, l'orthographe de chaque mot étant susceptible d'être apprise séparément (van Merriënboer & Sweller, 2010). La tâche est susceptible d'être entièrement comprise et apprise sans garder en mémoire de travail plus de quelques éléments à la fois. La charge cognitive intrinsèque sera alors faible.

Tableau 1.

*Catégories de charge cognitive (Inspiré de Paas & Sweller, 2014 "Categories of cognitive load", p. 39).*

Type	Source	Exemple
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Charge intrinsèque</b></li> </ul>	Causée par l'interactivité des éléments qui sont intrinsèques à la tâche et doivent être traités simultanément. Ne peut pas être modifiée sans changer la nature de la tâche ou augmenter les connaissances de l'apprenant.	Un novice devant résoudre un problème de type « $a/b=c$ $a=?$ ». Parce que les éléments interagissent, aucune étape du problème ne peut être solutionnée sans que tous les éléments ne soient pris en compte.
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Charge extrinsèque</b></li> </ul>	Causée par des éléments en interaction introduits par un mauvais design pédagogique. Cette charge cognitive devrait être réduite en modifiant le design pédagogique.	Demander aux apprenants d'apprendre en résolvant un problème plutôt que d'introduire progressivement les éléments nouveaux.
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Charge pertinente</b></li> </ul>	Concerne les ressources en mémoire de travail qui traitent des éléments intrinsèques à la tâche, ce qui facilite l'apprentissage.	Les conceptions pédagogiques qui orientent l'attention des apprenants sur les éléments intrinsèques à la tâche et favorisent les traitements profonds.

La charge cognitive intrinsèque peut être modifiée soit en changeant ce que l'apprenant doit apprendre, soit par l'apprentissage en lui-même (Sweller, 2010). En effet, une tâche qui représente pour un apprenant novice une charge cognitive élevée à cause de nombreux éléments en interaction, est susceptible de représenter pour un expert une charge cognitive faible car ces éléments peuvent être regroupés sous forme de schémas. Dans une expérience, Blayney, Kalyuga et Sweller (2010) ont comparé des étudiants, experts ou novices quant à l'utilisation d'un tableur, sur l'apprentissage de résolution de problèmes de

comptabilité sur tableur. Les participants recevaient des instructions soit présentées comme des éléments isolés pouvant être traités de façon sérielle (condition « éléments isolés ») avant de pouvoir visualiser le document entier, soit présentées simultanément sans progression (condition « éléments en interaction »). Les résultats des participants, à un questionnaire évaluant leurs connaissances, montrent que les novices avaient de meilleurs résultats avec les instructions présentant les éléments de façon isolée, alors que les experts avaient de meilleurs résultats avec les instructions présentant les éléments en interaction. Il semble que les schémas des experts leur permettaient de traiter les éléments en interaction plus facilement. Les novices, au contraire, bénéficiaient d'un avantage avec la présentation progressive des éléments qui leur permettait d'avoir moins d'éléments à traiter simultanément.

Certains documents pédagogiques nécessitent de la part des apprenants une forte activité cognitive, non pas parce que l'information à traiter est complexe, mais à cause de la façon dont cette information est présentée ou à cause des activités cognitives induites par le traitement de l'information (Bobis, Sweller & Cooper, 1993). Il s'agit ici de charge cognitive extrinsèque. Ces documents pédagogiques sont inefficaces car ils demandent aux apprenants de réaliser des activités cognitives superflues, et donc de traiter des éléments inutiles. Ils peuvent également être inefficaces tout simplement à cause de la manière dont le matériel est présenté. La charge cognitive extrinsèque doit généralement être réduite car elle mobilise une partie des capacités de traitement de la mémoire de travail sans avoir d'effet bénéfique sur l'apprentissage. La réduction de la charge cognitive extrinsèque peut s'effectuer par la conception de documents pédagogiques adaptés aux informations à apprendre et au niveau d'expertise de l'apprenant (Yeung, Jin & Sweller, 1997). Par exemple, il peut s'agir d'éviter de présenter des instructions qui comprennent des informations redondantes entre elles pour éviter de surcharger inutilement la mémoire de travail. Il peut aussi s'agir de favoriser les documents présentant les sources d'information ayant besoin d'être traitées simultanément dans un format intégrant les deux sources d'informations en même temps. Dans leur expérience, Bobis, Sweller et Cooper (1993) ont comparé différents documents présentant une procédure de pliage de papier suivant des principes géométriques : une version texte, une version sous forme de dessins dans laquelle des instructions étaient intégrées aux dessins et une version redondante comprenant le texte et

les dessins. Le groupe utilisant les documents avec des informations redondantes prenait plus de temps pour réaliser la tâche. Les auteurs supposent que les informations redondantes surchargeaient la mémoire de travail des participants. Le groupe utilisant les documents intégrant les instructions aux dessins réalisait moins d'erreurs que les autres groupes. Le fait d'intégrer les informations favoriserait la compréhension du lien entre les éléments et éviterait que les apprenants aient à partager leur attention entre deux sources d'informations. De nombreuses autres études ont été menées pour définir des principes de conception ergonomiques basés sur la théorie de la charge cognitive (Blayney, Kaluyga & Sweller, 2010; Mayer, 1997; van Merriënboer & Sweller, 2010; Moreno & Valdez, 2005).

Une deuxième distinction est faite par Sweller, van Merriënboer et Paas (1998) entre charge cognitive extrinsèque et charge cognitive *germane* ou pertinente. Toutes deux peuvent être modifiées par la conception de situations d'apprentissage, mais elles sont très différentes. Alors que la charge cognitive extrinsèque reflète les ressources allouées à des activités inutiles pour l'apprentissage, la charge cognitive pertinente correspond à l'effort qui contribue à la construction de schémas. C'est un des aspects les plus controversés de la théorie de la charge cognitive. Cette notion a été proposée pour expliquer comment, dans certains cas, l'augmentation de la charge cognitive pouvait être bénéfique à l'apprentissage (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Par exemple, van Merriënboer, Schuurman, de Croock et Paas (2002) ont réalisé une cette expérience dans laquelle des étudiants devaient étudier un document présentant un système de codage informatique puis réaliser des exercices. Les exercices étaient présentés de deux façons : dans le groupe « forte inférence contextuelle » les exercices nécessitaient des raisonnements différents sur les principes du système ; dans le groupe « faible inférence contextuelle » les exercices étaient présentés par blocs dans lesquels le raisonnement de résolution était identique. La forte inférence contextuelle induisait une plus forte charge cognitive, mais elle permettait également de meilleures performances aux tests de transfert. Puisque la condition présentant une plus forte charge cognitive était directement pertinente pour l'apprentissage, elle est considérée par les auteurs comme relevant d'une charge cognitive pertinente. Depuis, la charge cognitive pertinente a été re-conceptualisée comme composante de la charge cognitive intrinsèque (Sweller, Ayres & Kaluyga, 2011). Elle représente la quantité de ressources mnésiques que l'apprenant dévoue au traitement des éléments intrinsèques à la tâche et qui

favorise ainsi l'apprentissage. C'est pourquoi le terme de *ressources pertinentes* est également utilisé. Ces ressources sont utilisées pour traiter les informations importantes pour l'apprentissage, pour gérer la charge cognitive intrinsèque et pour réaliser des traitements profonds des informations (van Merriënboer & Sweller, 2010). La charge pertinente traditionnelle est considérée comme intrinsèque, car elle est dévouée au traitement des éléments intrinsèques à la tâche. La charge cognitive pertinente promeut l'apprentissage en poussant les apprenants à dévouer plus de ressources cognitives aux tâches utiles à l'acquisition de schémas, en augmentant leurs efforts ou leur motivation. Cela est particulièrement utile car la création de schémas et leur automatisation réduit la charge cognitive en mémoire de travail. De plus, la libération de place en mémoire de travail pourrait permettre d'augmenter à nouveau la charge cognitive pertinente et ainsi faciliter de nouveau le développement de schémas. Il est possible d'augmenter la charge cognitive pertinente en encourageant le traitement en profondeur du contenu par le *design* des instructions, par la conception de la tâche, ainsi que par la gestion des émotions des apprenants (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). Par exemple, les méthodes pédagogiques qui offrent l'opportunité de développer la compréhension, en demandant aux étudiants d'interagir avec des objets en explorant, manipulant et testant des hypothèses, favorisent un apprentissage profond en augmentant la charge cognitive utile. Une expérience de Moreno, Mayer, Spires et Lester (2001) évaluait l'effet de la participation des apprenants sur l'apprentissage. Des étudiants devaient apprendre à distinguer les caractéristiques physiques de survie de plantes en fonction de leur environnement, à partir d'un programme informatique. La moitié des participants avait la possibilité de créer des plantes. L'autre moitié des participants n'avait pas accès à cette fonctionnalité et n'avait accès qu'aux explications sur les différentes caractéristiques des plantes. Les apprenants ayant la possibilité de créer des plantes réalisaient de meilleures performances sur des tests de rappel et de transfert que les apprenants qui avaient appris les mêmes informations sans participer. La fonctionnalité interactive semble favoriser un apprentissage profond même si les activités à réaliser peuvent augmenter la charge cognitive. Les documents pédagogiques qui permettent d'augmenter la charge cognitive pertinente réorientent les ressources disponibles sur des aspects de la tâche encourageant la création de schémas. Des exemples classiques d'augmentation de la charge cognitive pertinente sont la variabilité dans la pratique et la métacognition, à travers lesquels les apprenants sont encouragés à traiter les

informations de façon plus approfondie, créant des schémas plus élaborés et flexibles (Fraser, Ayres & Sweller, 2015; van Merriënboer & Sweller, 2010).

Il est globalement admis qu'un document pédagogique approprié présente une charge cognitive intrinsèque adaptée au niveau de l'apprenant, limite la charge cognitive extrinsèque et favorise la charge cognitive pertinente (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). La combinaison simultanée de la diminution de la charge cognitive extrinsèque et de l'augmentation de la charge cognitive pertinente implique de rediriger l'attention de l'apprenant. Il s'agit de la détacher des processus non pertinents vis-à-vis de l'apprentissage et de la diriger vers des processus pertinents pour l'apprentissage. Un document pédagogique approprié ne puisant pas trop dans les ressources dont dispose l'apprenant, induisant une charge cognitive intrinsèque maîtrisée et une faible charge cognitive extrinsèque, est susceptible d'être amélioré s'il encourage les apprenants à accompagner l'apprentissage d'un réel travail cognitif, permettant de dévouer plus de ressources aux tâches utiles à l'acquisition de schémas.

## **2. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia**

Les documents utilisés pour l'apprentissage de compétences, connaissances, gestes ou habiletés sont fréquemment des documents multimédias (Bétrancourt, Dillenbourg & Montarnal, 2003). Lorsqu'on s'intéresse à l'apprentissage multimédia, il est utile de faire la distinction entre le *médium* de présentation, le *mode* de présentation et la *modalité* sensorielle utilisée. Le *médium* de présentation renvoie au système utilisé pour présenter les informations, par exemple un livre ou un ordinateur. Le *mode* de présentation se réfère au format utilisé pour représenter des informations, par exemple des mots ou des images. La *modalité* sensorielle utilisée se réfère au canal de traitement sensoriel utilisé pour traiter les informations, par exemple le canal acoustique ou visuel. Mayer (2014) définit comme document multimédia un document qui utilise différents modes de présentation, et non pas différents médias de présentation, comme pourrait le laisser penser le terme « multimédia ». L'information est présentée sous une forme verbale et sous une forme picturale à la fois. L'apprentissage multimédia correspond donc à la construction de connaissances de l'apprenant à partir d'un document multimodal. Selon Mayer (2014, p.xi), « *Multimedia learning is defined as learning from words (e.g., spoken or printed text) and pictures (e.g., illustrations, photos, maps, graphs, animation, or video). Multimedia*

*environments include online instructional presentations, interactive lessons, e-courses, simulation games, slideshows and even textbooks.* »<sup>2</sup>. A partir de sa théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer (2014) propose un modèle d'apprentissage multimédia. Pour construire ce modèle, Mayer se base sur trois principes de psychologie cognitive que sont la capacité limitée de la mémoire de travail (abordée au chapitre précédent), le double codage et l'apprentissage actif. La première sous-section commence par aborder la théorie du double codage, en s'intéressant au modèle de Paivio (1990). Le double codage renvoie à la structure de la mémoire de travail et au fait que le traitement des informations verbales et des informations non-verbales soit séparé mais non cloisonné. L'apprentissage actif sera abordé ensuite. Il correspond à l'idée qu'un apprentissage est plus efficace s'il est accompagné d'un réel travail cognitif, d'une activité cognitive consciente de la part de l'apprenant. Sur cette base, le modèle de Mayer (2014) sera décrit dans la dernière sous-section.

### **2.1. La théorie du double codage**

Rappelons que le modèle de la mémoire de travail de Baddeley (2012) décrit deux systèmes esclaves de l'administrateur central, qui ont pour rôle le traitement des informations verbales et visuo-spatiales. Le traitement et le stockage des informations verbales seraient pris en charge par la boucle phonologique, alors que le traitement et le stockage des informations picturales seraient pris en charge par le calepin visuo-spatial. Baddeley (2012) précise également que d'autres sous-systèmes chargés du stockage et du traitement de l'information issus d'autres modalités sensorielles pourraient probablement être différenciés en mémoire de travail.

La théorie du double-codage développée par Paivio (1990) repose sur le même principe d'un traitement séparé des informations non-verbales et verbales. C'est de cette théorie dont Mayer (2014) s'inspire pour établir certaines caractéristiques de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia. Selon cette théorie, il y aurait deux sortes d'éléments gérés cognitivement par deux sous-systèmes distincts. Un sous-système spécialisé dans le traitement des informations qui concernent les objets et événements non-verbaux et un

---

<sup>2</sup> « L'apprentissage multimédia est défini comme le fait d'apprendre de mots (ex. texte parlé ou écrit) et d'images (ex. illustrations, photos, cartes, graphiques, animations ou vidéo). Les environnements multimédias incluent les présentations pédagogiques en ligne, les leçons interactives, les cours en ligne, les jeux de simulation, les diaporamas et même les manuels scolaires. »

sous-système spécialisé dans le traitement des informations langagières, appelé le système verbal (Paivio, 1990). Le sous-système non-verbal est souvent appelé *système imagé* ou *système visuel* car ses fonctions incluent le traitement d'images, mais également d'autres modes d'informations non-verbales (Paivio, 1990). La séparation des informations se déroule donc sur la base du mode de présentation, et non sur la base de la modalité sensorielle. La majorité des exemples et hypothèses qui découlent du modèle de Paivio (1990) sont limitées aux modalités verbale et imagée (Tableau 2), car même si d'autres modalités existent, celles-ci sont plus complexes à étudier expérimentalement.

Tableau 2.

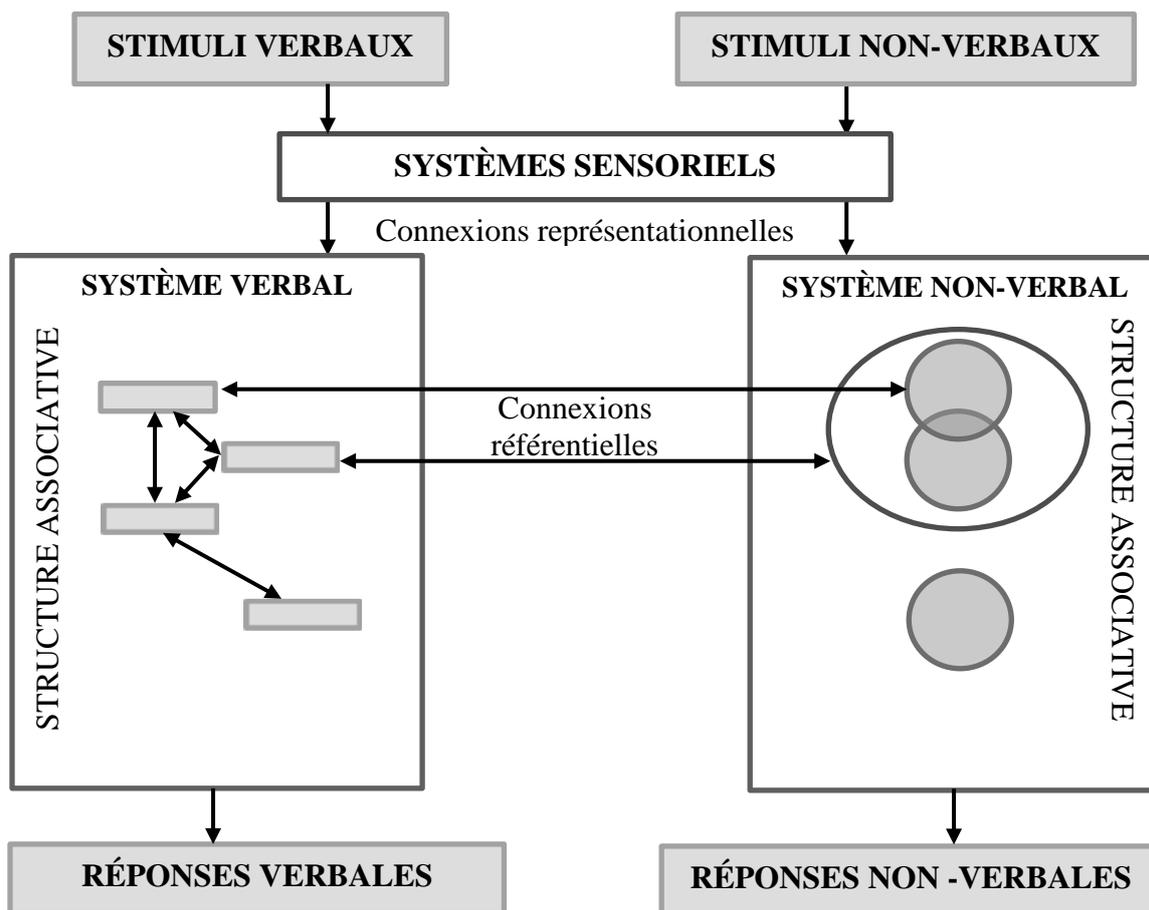
*Relation conceptuelle entre les systèmes symboliques et sensoriels avec exemples de types d'informations spécifiques selon une modalité représentée dans chaque sous-système. Adapté de Paivio (1990).*

Systèmes sensoriels	Systèmes symboliques	
	Verbal	Non-verbal
• Visuel	Mots écrits	Objets visuels
• Auditif	Mots entendu	Sons
• Haptique	Motifs d'écriture	Toucher d'objets
• Goût	---	Goûts
• Odorat	---	Odeurs

Les deux sous-systèmes sont séparés, car ils sont supposés structurellement et fonctionnellement distincts. Structurellement, Paivio (1990) suppose qu'ils diffèrent dans la nature des unités qu'ils traitent et dans la manière dont ces unités sont organisées en structures d'ordre supérieur. Les unités du système verbal, ou logogènes, seraient organisées de manière associative qui peut être inférée à partir d'associations de mots et de manière hiérarchique entre les mots représentant une catégorie (par exemple « animal ») et les éléments de cette catégorie (par exemple « chien » ou « chat »). Les unités du système non-verbal, ou imagènes, seraient organisées en structures hiérarchiques synchrones comprenant de nombreux éléments, elles-mêmes faisant partie de structures plus vastes. Par exemple l'image d'un cil peut être un imagène, qui fera partie de l'imagène de l'œil, lui-même partie de l'imagène du visage. Fonctionnellement, chaque système est susceptible d'être actif indépendamment de l'autre, ou bien les deux peuvent être actifs simultanément. Ils sont également indépendants dans le traitement de l'information, même s'ils sont

fonctionnellement interconnectés. En effet, l'activité d'un système peut initier l'activité de l'autre système. Donc une connexion structurelle existe mais le traitement commun des unités est optionnel. Cela signifie que, par exemple, la dénomination d'une image n'est pas automatique même si elle a de grandes chances de se produire dans certaines circonstances. De la même façon, il est possible, mais pas obligatoire, de créer une représentation imagée dans le système non-verbal suite à la dénomination d'objets concrets ou de descriptions (Paivio, 1990). Dans la théorie de Paivio (1990) ce sont les unités d'information qui sont connectées entre les deux systèmes et non pas les systèmes entre eux. Les systèmes sont séparés mais non cloisonnés.

À la différence de Baddeley (2012), Paivio (1990, Figure 4) n'inclut pas dans son modèle un administrateur central ou un système de contrôle qui serait séparé des deux sous-systèmes de traitement.



*Figure 4.* Représentation schématique de la structure des systèmes symboliques verbal et non-verbal, montrant les unités représentatives et leurs interconnexions référentielles (entre les systèmes) et associatives (dans les systèmes) ainsi que les connexions aux systèmes d'entrées et sorties. Les unités sans connexions référentielles correspondent respectivement à des mots abstraits et des images sans noms (Paivio, 1990).

Puisque les sous-systèmes ne sont pas cloisonnés et que l'activation d'éléments dans un système peut activer des éléments dans l'autre système, cette théorie émet l'hypothèse que l'activation d'un mot peut activer des éléments non-verbaux dans le système non-verbal et qu'un élément non-verbal peut activer des mots dans le système verbal. Un mot donné peut donc déclencher toutes sortes d'images, correspondant à différentes versions d'une catégorie référente ou à différentes versions d'un membre particulier de la catégorie (Paivio, 1990). Par exemple, le mot « tabouret » peut activer des images de différents tabourets ou des images du même tabouret sous différents angles de vue. De la même façon une même image peut activer différentes descriptions ou différents mots associés. Pour Paivio (1990), la probabilité d'activation des représentations verbales ou non-verbales est fonction des effets combinés des stimuli activés, des instructions et de différences individuelles. Par exemple, une représentation imagée dans le système non-verbal aura plus de chances d'être déclenchée avec une information sous forme d'objet ou d'image qu'avec des mots, et plus de chances d'être activée avec des mots concrets qu'abstraites.

Dans la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer (1997) conserve l'idée que les êtres humains possèdent des canaux de traitement séparés pour le traitement des informations visuo-spatiales et des informations verbales. Contrairement à Paivio (1990), il ne mentionne pas les autres types de représentations qui pourraient exister. Il conserve également l'idée que les deux systèmes, même s'ils sont séparés, sont connectés. En effet, pour Mayer (2014) même si l'information pénètre dans un canal de traitement, il est possible de convertir les représentations pour les traiter dans l'autre canal. Par exemple, à partir d'une photo d'une fleur dans un pré, initialement traitée par le canal visuel, l'apprenant serait capable d'élaborer une description verbale correspondant à l'image (ex : « une fleur jaune dans un pré vert ») pour la traiter dans le canal verbal.

## **2.2. L'apprentissage actif**

Le principe de l'apprentissage actif, ou du traitement actif de l'information, correspond à l'idée qu'un apprentissage est plus efficace s'il est accompagné d'un réel travail cognitif conscient de la part de l'apprenant (Mayer, 1997). L'apprentissage actif se déroule lorsque l'apprenant traite activement des informations qui proviennent de l'environnement. Il peut par exemple orienter son attention vers les éléments les plus importants, les organiser mentalement entre eux ou avec ses connaissances préalables. Ces processus ont pour but

d'aider l'apprenant à donner sens aux informations. Le résultat espéré de ces traitements cognitifs actifs est la construction d'une représentation mentale cohérente des informations fournies par le document (Heurley, 2001b; Jamet, Le Bohec & Hidrio, 2003). Cela va permettre de favoriser la construction d'un modèle mental qui lie la représentation du document avec les connaissances préalables. Pour Mayer (2014) un apprentissage actif permet de favoriser un meilleur stockage en mémoire à long terme ainsi qu'un apprentissage significatif. L'apprentissage significatif correspond à la construction d'un modèle mental utilisable, qui permet aux apprenants de réutiliser le contenu de l'apprentissage dans d'autres situations, c'est à dire la capacité de transfert (Bétrancourt, Dillenbourg & Montarnal, 2003).

Selon Mayer (2014), trois types de processus cognitifs spécifiques seraient impliqués dans l'apprentissage actif. Le premier correspondrait à la sélection d'informations pertinentes. Il se déroulerait lorsque l'apprenant oriente son attention sur les mots et les images appropriées dans le document présenté. Ce processus implique donc de traiter les informations perçues dans le document présenté, en mémoire de travail. Le deuxième processus correspond à l'organisation des informations sélectionnées. L'organisation impliquerait la construction de relations structurelles entre les éléments sélectionnés. Ce processus se déroulerait toujours en mémoire de travail. Le troisième processus correspondrait à l'intégration des informations avec les connaissances préalables. Ce processus se déroulerait lorsque des connexions sont créées entre les informations en provenance du document et les connaissances préalables appropriées. Ce processus demande l'activation des connaissances préalables en mémoire à long terme et leur traitement en mémoire de travail.

Dans la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer (2014) insiste sur l'idée que l'apprentissage se déroule lorsque l'apprenant sélectionne les informations utiles, les organise en une représentation mentale cohérente qu'il intègre avec ses connaissances préalables. L'apprenant est vu comme un constructeur de savoir qui sélectionne et connecte activement les informations visuelles et verbales (Mayer, 1997).

### **2.3. Le modèle de Mayer**

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (2014) se base sur trois principes : le double codage, selon lequel les informations verbales et imagées sont traitées par deux

canaux différents mais connectés ; l'apprentissage actif, où les apprenants sont actifs dans leur traitement du document en sélectionnant les items pertinents, en les organisant et en les intégrant à leurs connaissances préalables ; et la capacité limitée de la mémoire de travail, qui limite le nombre d'éléments traités simultanément dans chaque canal de traitement.

A partir de ces trois principes le modèle de Mayer (2014, Figure 5) distingue cinq processus cognitifs à l'œuvre dans l'apprentissage multimédia : la sélection des mots pertinents (1), la sélection des images pertinentes (2), l'organisation des mots sélectionnés (3), l'organisation des images sélectionnées (4) et l'intégration des représentations créées ainsi que des connaissances préalables (5).

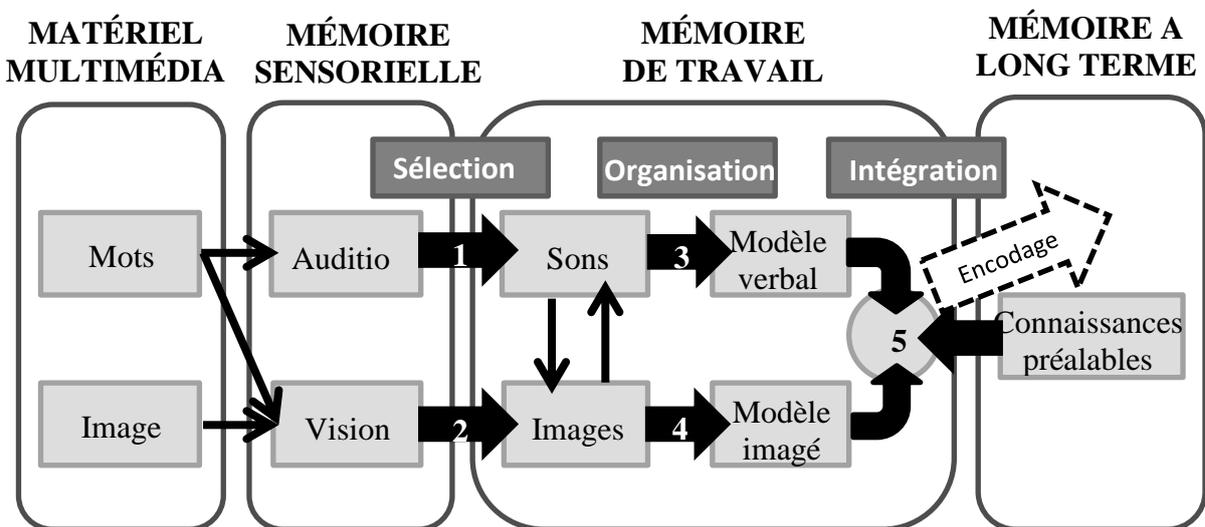


Figure 5. Modèle de l'apprentissage multimédia, d'après Mayer (2014). Le processus d'encodage (en pointillés) a été ajouté et ne fait pas partie du modèle original.

Les deux premiers processus de sélection sont nécessaires car il est impossible pour la mémoire de travail de traiter tous les éléments d'une animation, d'une image ou d'un texte simultanément. Les canaux de traitement de l'information étant limités, il est nécessaire de ne sélectionner qu'une partie du matériel à apprendre. Lors de la sélection des mots pertinents, l'apprenant traduit la présentation externe des mots entendus en une représentation sensorielle de sons, puis une représentation de ces sons en mémoire de travail. Cela nécessite de porter son attention sur certains mots présentés dans le document multimédia alors qu'ils sont traités par la mémoire sensorielle auditive. Si les mots sont présentés dans le document multimédia sous forme de texte écrit, alors le processus commence dans le canal visuel de la mémoire sensorielle et les informations sont ensuite

articulées mentalement pour être traduites en sons (Mayer, 2014). Le processus de sélection des images pertinentes est similaire au processus de sélection des mots. Il est également nécessaire pour l'apprenant de porter son attention sur certaines parties de l'information visuelle présentée. Le processus se déroule dans le canal visuel, mais il est également possible de convertir en mots des informations présentées sous forme d'images. Dans ces deux processus, l'apprenant doit choisir de porter son attention sur, et donc de sélectionner, les éléments les plus pertinents pour donner du sens au matériel.

Les deux processus suivants correspondent à l'organisation des mots et des images sélectionnées en un tout cohérent. Ils sont également soumis aux limites de la mémoire de travail. Les apprenants n'ont pas une capacité illimitée pour construire toutes les connexions possibles entre les éléments sélectionnés. Concernant l'organisation des mots, lorsque l'apprenant a sélectionné une base de mots provenant du document multimédia, il les organise en une représentation structurée en mémoire de travail. L'apprenant construit des connexions entre les éléments sélectionnés pour élaborer ce que Mayer (1997, 2014) nomme un *modèle verbal cohérent*. Ce processus se déroule dans le canal de traitement verbal de la mémoire de travail. Le processus d'organisation des images sélectionnées est similaire au processus d'organisation des mots. Celui-ci se déroule dans le canal de traitement visuel de la mémoire de travail. Mayer (1997, 2014) nomme *modèle pictural* la représentation cohérente élaborée dans ce cas. De la même façon que les processus de sélection, les processus d'organisation nécessitent des efforts de l'apprenant pour donner du sens au matériel traité.

Le dernier processus représenté dans le modèle correspond au processus d'intégration. Il s'agit de relier entre elles les informations organisées dans les modèles et de les intégrer aux connaissances préalables en mémoire à long terme (Mayer 1997). Cela implique de créer des connexions entre les représentations verbale et imagée, et donc de passer de deux modèles séparés à un modèle intégré dans lequel sont fusionnés les éléments qui se correspondent dans les deux représentations. L'apprentissage consiste à établir des liens entre les représentations verbale et picturale du document, mais également à lier ces représentations avec les informations en mémoire à long terme (Gyselinck, Jamet & Dubois, 2008). L'apprenant doit par conséquent construire des connexions à la fois entre les éléments du modèle pictural et verbal, et avec les éléments pertinents en mémoire à long terme.

L'apprenant utilise des connaissances préalables activées en mémoire à long terme pour les intégrer au modèle mental intégratif et pour coordonner le processus. Ce processus est extrêmement coûteux en ressources cognitives car l'intégration se déroule à la fois dans le canal visuel et dans le canal verbal de la mémoire de travail et qu'il demande que les deux sous-systèmes soient coordonnés (Mayer, 2014).

Un apprenant, face à un document multimédia doit donc engager ces cinq processus cognitifs : la sélection des mots pertinents, la sélection des images pertinentes, l'organisation des mots sélectionnés en un modèle verbal cohérent en mémoire de travail, l'organisation des images sélectionnées en un modèle pictural cohérent en mémoire de travail, et l'intégration des modèles pictural et verbal ensemble et avec les connaissances préalables en mémoire à long terme. Chacun de ces processus se déroule plusieurs fois lors de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014). En effet, la mémoire de travail des apprenants étant limitée, ces processus sont appliqués sur des segments du document multimédia et non pas sur le document entier. L'apprentissage se déroule sur de courts segments du document, pour permettre à l'apprenant d'éviter une surcharge en mémoire de travail.

Mayer (2014), ajoute un dernier processus qui n'est ni représenté dans son modèle original, ni précisé dans le principe d'apprentissage actif : l'encodage. En effet, à la fin de l'apprentissage, le modèle intégré, construit sur la base du modèle verbal, du modèle imagé et des connaissances préalables, serait transféré de la mémoire de travail à la mémoire à long terme.

### **3. Documents pédagogiques et *e-learning***

L'introduction de la technologie permet des formes nouvelles et bénéfiques d'enseignement et d'apprentissage, mais ces nouvelles formes posent également de nouvelles questions sur la façon de concevoir des environnements pédagogiques efficaces (Wong, Marcus, Leahy & Sweller, 2012). Le *e-learning* est un des domaines dans lesquels l'ergonomie des documents multimédias est la plus importante. Contrairement aux cours en présentiel dans lesquels un formateur peut expliquer et développer les informations contenues dans un document, en situation de *e-learning* le document multimédia représente le seul support d'apprentissage et l'apprenant se trouve seul face à son ordinateur. Il est donc nécessaire de prêter une attention particulière à la conception de situation d'apprentissage *e-learning*. Pour cela, la

conception doit s'appuyer sur des modèles théoriques du fonctionnement cognitif de l'individu en situation d'apprentissage. Il est donc nécessaire de prendre en compte d'une part la façon dont les individus vont traiter les instructions (Mayer, 2014), et d'autre part la capacité limitée de la mémoire de travail et les mécanismes favorisant la construction de schémas (Miller, 1956; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998; van Merriënboer, Schuurman, de Croock & Paas, 2002).

Cette troisième section aborde deux formes différentes d'apprentissage en ligne. Tout d'abord, il s'agit de traiter du *e-learning*, dans lequel la plupart ou la totalité du contenu est fourni en ligne (Allen & Seaman, 2007). La définition du *e-learning* sera abordée, ainsi que ses avantages et inconvénients, son efficacité et la façon de concevoir des environnements d'apprentissage en ligne, particulièrement du point de vue des interactions. La deuxième sous-section traite du *blended learning*, qui associe la diffusion en ligne et le présentiel (Allen & Seaman, 2007).

### **3.1. Le *e-learning***

Les technologies pédagogiques sont de plus en plus présentes dans la conception de cours, dans le domaine scolaire ou professionnel, et il semble que cette croissance n'est pas prête de s'arrêter (Cantarero-Villanueva et al., 2012; Gormley, Collins, Boohan, Bickle & Stevenson, 2009; Welsch, Wanberg, Brown & Simmering, 2003; Wong, Marcus, Leahy & Sweller, 2012). La proportion de chefs d'établissements qui déclarent que l'apprentissage en ligne entre dans le cadre de leur stratégie à long terme continue d'augmenter régulièrement (Allen & Seaman, 2007). Le *e-learning*, qui fait l'objet de cette première sous-section peut être défini comme l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, principalement sur des intranets ou sur internet, pour transmettre de l'information et des instructions à des individus pour l'éducation et la formation (Sun, Tsai, Finger, Chen & Yeh, 2008). Même si des termes comme apprentissage par ordinateur (*computer-based learning*), apprentissage en ligne (*on-line learning*), ou entraînement web (*web-based training*) sont parfois utilisés, le terme *e-learning* est celui qui domine généralement la littérature et la pratique (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003).

Le *e-learning* présente de nombreux avantages pour l'apprentissage. Des études auprès d'établissements scolaires (Allen & Seaman, 2007) et d'entreprises (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003) ont identifié les raisons principales d'ouverture de cours en *e-learning*.

L'amélioration de l'accès des apprenants aux cours est un des avantages les plus cités. En effet, s'ils disposent de la technologie nécessaire, les apprenants peuvent accéder à un cours en ligne asynchrone quand ils le désirent, d'où ils le désirent (Allen & Seaman, 2007). Cette flexibilité permet d'apporter un enseignement et/ou entraînement similaires à des endroits différents. Welsh, Wanberg, Brown et Simmering (2003) citent l'exemple d'une entreprise dans laquelle un cours obligatoire sur le respect et la responsabilité devait être donné à tous les employés sur différents sites. Chaque site avait, au départ, la responsabilité d'organiser et de préparer les cours. Les responsables se sont rendu compte que le cours était donné de façon inégale, médiocre ou n'était pas proposé du tout sur de nombreux sites. Déployer le cours en *e-learning* pour tous les sites a été la solution pour s'assurer que les employés reçoivent tous une formation appropriée et identique. Pour de nombreux établissements scolaires, particulièrement dans l'enseignement supérieur, cette flexibilité permet également de fournir un accès à la formation aux étudiants en reprise d'études ou ayant un emploi à temps plein (Allen & Seaman, 2007). Le *e-learning* présente donc comme principal avantage de permettre un apprentissage flexible et autonome en décentralisant le processus d'enseignement. Cela permet également de contrôler la quantité d'informations que les apprenants doivent traiter. Lors d'un cours en présentiel, particulièrement lors d'une formation professionnelle où la durée est généralement très limitée, la quantité d'informations présentées peut amener une surcharge cognitive. Réaliser une partie de l'entraînement ou de l'apprentissage de façon asynchrone permet de délivrer l'information sur une plus longue période de temps. En outre, cela permet aux apprenants de retrouver les informations au moment où ils en ont besoin et de répéter les exercices ou revoir les informations fournies aussi souvent que désiré (Bloomfield, While & Roberts, 2008; Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Le *e-learning* permet également de suivre et contrôler les activités des apprenants, les cours qu'ils ont suivis et l'amélioration de leurs connaissances. Cette caractéristique peut être particulièrement utile lorsque la maîtrise d'une compétence est nécessaire pour obtenir une certification, un diplôme ou qu'elle conditionne l'accès au terrain d'exercice. Un autre avantage est la diminution des coûts (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Le *e-learning* permet de réduire les coûts en locaux, en déplacements de formateurs et en temps de formation. L'utilisation du *e-learning* permet de former rapidement un grand nombre de personnes sans avoir besoin d'organiser des créneaux de participation dédiés.

Cependant, le *e-learning* peut également présenter des inconvénients. La réduction des coûts n'est pas automatique car la mise en place de *e-learning* représente un certain investissement financier et temporel : création et développement des contenus, formation de personnel ou soutien technique (Allen & Seaman, 2007; Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Un autre inconvénient décrit par Allen et Seaman (2007) concerne l'auto-discipline nécessaire pour suivre un cours en ligne par rapport à un cours en présentiel. En effet, pour qu'un cours en ligne soit suivi de façon constante et consciencieuse, il est nécessaire que les apprenants aient une motivation à terminer le cours. Welsh, Wanberg, Brown et Simmering (2003) ont montré que lorsque les cours en *e-learning* sont perçus comme optionnels ou ayant peu d'intérêt pour la pratique réelle, les apprenants ont tendance à ne pas les suivre. Cependant, s'il existe une raison claire, comme la participation à un cours présentiel pour lequel le suivi du cours *e-learning* est nécessaire, une évaluation ou un lien direct avec la pratique, les apprenants ont tendance à aller au terme du cours proposé en *e-learning*. Certains auteurs citent également comme frein à l'adoption du *e-learning* l'iniquité entre les apprenants en raison de difficultés d'accès, d'incompétence ou d'attitudes négatives envers les technologies de la communication et de l'information. La recherche suggère qu'un faible niveau en informatique ainsi qu'une méfiance envers les environnements numériques peuvent faire diminuer l'efficacité de l'apprentissage (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Cependant, une étude de Sun, Tsai, Finger, Chen et Yeh (2008) réalisée auprès d'étudiants fait apparaître que ce dernier facteur est peu important à l'heure actuelle. En effet, l'usage de la technologie est désormais entré dans les mœurs et les étudiants à l'université reçoivent généralement des formations en informatique et bénéficient d'un accès à des ordinateurs. Cela est également le cas dans un grand nombre d'établissements scolaires. De la même façon, dans la plupart des entreprises, l'utilisation de l'informatique s'est généralisée et la majorité des employés ont accès à un ordinateur avec une connexion internet et savent utiliser ces technologies. Finalement, l'acceptation de l'enseignement en ligne par les formateurs reste un problème clé pour une adoption plus large de ce type d'enseignement. En effet, de nombreux formateurs n'auraient pas encore accepté la valeur pédagogique de l'enseignement en ligne (Allen & Seaman, 2007).

De nombreuses études ont montré que le *e-learning* était équivalent à d'autres formes d'apprentissage, voire supérieur dans certains cas (Bernard et al., 2009; Burke & Mancuso, 2012; Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Une méta-analyse de Bernard et al. (2009) fait apparaître que le *e-learning* peut être très efficace, si celui-ci est bien conçu. Certaines études (Kulik & Kulik, 1991; Janniro, 1993; Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003) montrent que les cours en ligne peuvent être plus efficaces que les cours en présentiels. Cependant cela n'est pas toujours le cas et d'autres ne montrent pas forcément de différences, ou montrent des résultats en demi-teinte (Phelps, Wells, Ashworth, & Hahn, 1991). Il est généralement compliqué de comparer les cours en ligne et les cours en présentiel car il peut y avoir de nombreuses variables qui influent les résultats, autres que la façon de transmettre les connaissances. Par exemple, dans les études qui comparent l'enseignement en *e-learning* avec le présentiel, la méthode de transmission est souvent confondue avec la conception pédagogique, dans laquelle la condition *e-learning* présente des caractéristiques de conception pédagogique absentes de la condition contrôle en présentiel et inversement (Bernard et al., 2009). Il est difficile, voire impossible de concevoir des cours qui ne diffèrent que sur la façon de les donner. Même si les comparaisons entre cours en ligne et présentiel doivent être prises avec recul, les auteurs s'accordent généralement pour dire que la plupart des individus peuvent apprendre efficacement avec le *e-learning*. Dans une méta-analyse, Bernard et al. (2009) concluent que le *e-learning* peut être meilleur, mais également pire que l'apprentissage en présentiel s'il n'a pas été conçu correctement.

De fait, une formation en *e-learning* efficace nécessite des efforts significatifs concernant sa conception, son organisation, son infrastructure et son implémentation (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Des cours *e-learning* efficaces passent par le soin porté à la conception des documents pédagogiques. Pour cela, les modèles de psychologie cognitive, utilisés pour la conception de documents pédagogiques, comme le modèle de Mayer (2014) et la théorie de la charge cognitive (Fraser, Ayres & Sweller, 2015; Sweller, 2010) doivent être utilisés. Il est en effet important, dans la conception de cours en *e-learning*, comme dans la conception de tout document pédagogique, de prendre en compte les traitements cognitifs effectués par l'apprenant. Les cours en *e-learning* varient dans leur efficacité à capter et garder l'attention des apprenants, à expliquer des points-clés, à clarifier des

erreurs, à offrir des opportunités de pratiquer, et à donner des *feedbacks* clairs et précis (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Pour que cette technologie soit efficace, il est nécessaire qu'elle transmette les informations de façon à focaliser l'attention et les efforts de l'apprenant, en minimisant la charge cognitive extrinsèque et favorisant la charge pertinente (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Sun, Tsai, Finger, Chen et Yeh (2008) ont également montré que la qualité du *design* du *e-learning* était un des facteurs les plus importants pour l'apprentissage. Si le cours est conçu en prenant en compte les modèles de psychologie cognitive, le *e-learning* devrait constituer une expérience positive d'apprentissage. De nombreuses expériences cherchant à définir des principes ergonomiques de conception, basées sur la théorie de la charge cognitive et/ou la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, ont été réalisées en *e-learning* ou dans des situations expérimentales similaires (Bétrancourt, Dillenbourg & Montarnal, 2003; Boucheix & Schneider, 2009; Moreno, 2004; Spanjers, Wouters, van Gog & van Merriënboer, 2011 ; van Hooijdonk & Kraemer, 2008). Par exemple, Boucheix et Schneider (2008) ont montré que le fait d'orienter l'attention de l'apprenant sur des éléments spécifiques, facilitait la construction d'un modèle mental. Dans leur expérience, des étudiants devaient étudier une version numérique animée d'un système de poulie. L'attention des apprenants était dirigée vers la configuration du système, vers les mouvements, vers le fonctionnement de celui-ci ou n'était pas dirigée. Les auteurs faisaient l'hypothèse que l'orientation de l'attention permettrait d'aider les apprenants à sélectionner les informations importantes, et faciliterait donc l'apprentissage, comme décrit dans le modèle de Mayer (2014). En effet, quand l'attention des participants était dirigée vers le fonctionnement du système, le modèle mental construit par les participants était plus élaboré qu'en l'absence d'orientation ou quand l'attention n'était focalisée que sur la configuration du système. Bétrancourt et Bisseret (1998) ont également mené une expérience, qui reprend les principes théoriques de Mayer (1997) et de Sweller (1994), pour la conception de documents multimédia numériques. Dans leur expérience, 24 étudiants devaient étudier un schéma de conduit à fumée accompagné de texte. Un texte l'accompagnait, soit séparément, soit de façon intégrée au schéma, soit sous forme de fenêtre *pop-up*. Les apprenants dans le format séparé réalisaient la tâche de rappel plus lentement et en rappelant moins d'informations que ceux des deux autres groupes. Les auteurs concluent que le format séparé induit une plus forte charge cognitive liée à la nécessité, pour les apprenants, de séparer leur attention

entre plusieurs sources d'information. De plus, le format séparé complique l'intégration des informations provenant de sources différentes. Cet effet est nommé « effet de l'attention partagée » ou « effet de contiguïté » (Ayres & Sweller, 2014; Mayer, 1997, 1998). De nombreux autres principes d'ergonomie des documents, inspirés de modèles de psychologie cognitive, tels que l'effet de multimédia, l'effet de redondance, l'effet de l'expertise, l'effet des exemples résolus ou l'effet de contiguïté peuvent ainsi être utilisés pour concevoir des cours en *e-learning* plus efficaces (Jamet, 2006; Mayer, 1998; Sweller, 2016; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998).

Lors d'un apprentissage *e-learning* l'apprenant se trouve seul devant son écran. Pour certains auteurs il donc est particulièrement important de s'intéresser aux interactions lors de la conception de cours en *e-learning* (Bernard et al., 2009; Sun, Tsai, Finger, Chen & Yeh, 2008). Une distinction peut être faite entre deux types de *e-learning* : le *e-learning* synchrone et le *e-learning* asynchrone. Le *e-learning* synchrone est le moins courant des deux. Il est réalisé « en direct » et requiert que tous les apprenants soient devant leur ordinateur au même moment pour assister au cours qui ne sera disponible que sur les créneaux prévus (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Lorsque le *e-learning* est synchrone, il contient naturellement de nombreuses interactions, notamment entre l'étudiant et le formateur et souvent entre les étudiants car le cours se déroule « en direct ». La majorité des cours en *e-learning* sont cependant asynchrones, c'est-à-dire qu'ils sont créés et disponibles aux apprenants à n'importe quel moment, potentiellement depuis n'importe quel endroit (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Les formes de *e-learning* asynchrone les plus basiques sont souvent de simples présentations PowerPoint, alors que des formes plus sophistiquées peuvent inclure des outils d'interaction avec l'apprenant comme des quiz, des exercices, ou encore des simulations. Quel que soit le type de *e-learning* (synchrone ou asynchrone) réalisé, les interactions peuvent se faire également de façon synchrone et asynchrone.

Les interactions en *e-learning* peuvent être synchrones via des appels téléphoniques, des vidéoconférences, des messageries instantanées, et des environnements de classe à distance ; ou asynchrone par courrier électronique et sur des forums de discussion (Bernard et al., 2009). Moore (1989) distingue trois formes d'interaction dans l'enseignement à distance. L'interaction entre apprenants fait référence à une interaction entre des

apprenants individuels ou entre des apprenants travaillant en petits groupes. L'interaction entre l'apprenant et le formateur peut par exemple viser à fournir un soutien motivationnel et émotionnel, des *feedbacks* ou à répondre à des questions. Les *feedbacks* des enseignants et leurs réponses aux questions ou demandes des apprenants constituent un élément majeur pour l'apprentissage et la motivation des apprenants à continuer le *e-learning* (Sun, Tsai, Finger, Chen & Yeh, 2008). L'interaction entre l'apprenant et le contenu renvoie à l'activité de l'apprenant avec l'information. Il n'est pas question ici d'un autre type d'interactivité qui correspondrait au contrôle de l'apprenant sur le document (Bétrancourt, 2005). L'interaction entre l'apprenant et le contenu représente l'interaction des apprenants avec les informations à apprendre pour les comprendre, les relier à ses connaissances en mémoire à long terme et les appliquer à la résolution de problèmes (Bernard et al., 2009). Elle a pour but de construire du sens et de favoriser l'apprentissage. Il s'agit de favoriser les activités d'apprentissage actif, permettant de construire des représentations pertinentes (Bétrancourt, Dillenbourg & Montarnal, 2003). L'interaction entre l'apprenant et le contenu peut donc être liée à l'utilisation de ressources pertinentes pour l'apprentissage (Sweller, Ayres & Kaluyga, 2011). Pour Bernard et al. (2009), un apprentissage significatif pourrait se dérouler tant que l'une des trois formes d'interaction est à un niveau élevé. Des niveaux élevés dans plus d'une des trois formes d'interaction pourraient fournir une expérience d'apprentissage plus satisfaisante mais ne seraient pas nécessaires. Un élément important lors de la conception d'un cours en *e-learning* est donc de prévoir des interactions avec le matériel à apprendre, avec le formateur ou avec des pairs. Cela permet d'induire un apprentissage actif en favorisant l'engagement (Bernard et al., 2009).

Les limites technologiques étant de plus en plus réduites, l'usage de formes complexes d'entraînement se développe. La combinaison de différents types de *e-learning*, qui mélangent les outils complexes et basiques, interactifs et non-interactifs, ainsi qu'une organisation synchrone et asynchrone, est progressivement reconnue comme étant utile pour s'adapter aux différents types de connaissances à transmettre (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). L'importance de l'interaction explique sûrement pourquoi le développement de solutions mixtes qui utilisent un mélange d'apprentissage synchrone et asynchrone en ligne, et d'apprentissage synchrone en présentiel est considéré comme l'avenir du *e-learning* (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Avec la généralisation et

le progrès des technologies de la communication et de l'information, le *e-learning* émerge fortement comme un paradigme important de l'éducation moderne.

### **3.2. L'apprentissage hybride ou *blended learning***

De nombreuses études ont montré l'efficacité de l'apprentissage en ligne, d'autant plus quand cet apprentissage en ligne est couplé à un apprentissage en présentiel prévu dans le cursus, ce que l'on appelle *blended learning* (Arroyo-Morales et al., 2012; Bloomfield, Cornish, Parry, Pegram & Moore, 2013; Bloomfield & Jones, 2013; Button, Harrington & Belan, 2014; Degerfält, Sjöstedt, Fransson, Kjellén & Werner, 2017). Le *blended learning* se définit généralement par la combinaison de cours en ligne et de cours traditionnels (Graham, 2013). Certains auteurs considèrent que le *blended learning* deviendra la nouvelle norme dans les années à venir (Graham, 2013; Norbert, Dziuban & Moskal, 2011). Pour ces auteurs, le *blended learning* n'est pas une lubie technologique mais une approche et une stratégie pédagogique complète qui devrait s'implanter complètement dans le paysage éducatif (Garrison & Kanuka, 2004). Bien que l'apprentissage en *blended learning* semble installé dans l'éducation, particulièrement l'enseignement supérieur et les formations professionnelles, peu de données sont disponibles pour documenter sa portée. Selon Picciano (2009), la raison principale est qu'il n'existe pas de définition globalement acceptée du *blended learning*. Le *blended learning* est perçu comme une combinaison nébuleuse d'enseignements en ligne et en présentiel. De ce fait, de nombreux enseignants n'identifient pas nécessairement leurs cours comme relevant du *blended learning* et il est donc difficile d'évaluer l'évolution de cette pratique.

L'enseignement en *blended learning* implique une combinaison d'apprentissages en face à face et en ligne. C'est cette définition très simple qu'utilise Graham (2013). Pour d'autres auteurs, le *blended learning* consiste à intégrer de manière réfléchie les expériences d'apprentissage synchrones en salle de classe et les expériences d'apprentissage asynchrones en ligne (Garrison & Kanuka, 2004). Dans sa définition la plus générale, le *blended learning* peut aussi bien correspondre à la combinaison de deux apprentissages synchrones, l'un réalisé en ligne et l'autre en présentiel, qu'à la combinaison de *e-learning* synchrone, asynchrone et d'apprentissage en présentiel (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). C'est cette variété de combinaisons possibles qui peut rendre le *blended learning* complexe à définir. Selon Picciano (2009), le *blended learning* peut consister en une

simple transformation d'une partie d'un cours traditionnel en un cours en ligne. Par exemple, pour un cours qui se déroule en trois heures hebdomadaires, deux heures peuvent se dérouler en présentiel dans une salle de classe traditionnelle, et l'équivalent d'une heure hebdomadaire peut être donné en ligne. Les deux modalités de ce cours sont soigneusement séparées et, même si elles peuvent se chevaucher, elles peuvent toujours être différenciées (Picciano, 2009). Dans d'autres formes de cours et de programmes en *blended learning*, les modalités ne se distinguent pas aussi facilement. Graham (2013) cite l'exemple d'un modèle dans lequel les apprenants alternent des modules en ligne et un cours traditionnel en classe. Le cours en ligne pouvant être réalisé à l'école ou ailleurs. Si l'on considère la définition élargie du *blended learning*, est-il possible de considérer également qu'un cours en présentiel, durant lequel les apprenants doivent se connecter sur un module en ligne pour réaliser des exercices, sur leurs ordinateurs ou téléphones, tout en suivant les indications du formateur présent correspond à une forme de *blended learning* ? C'est pour répondre à ces questions que certains auteurs définissent une quantité minimum d'apprentissage réalisé en ligne pour qu'un enseignement soit considéré comme du *blended learning*. Allen et Seaman (2007) catégorisent le *blended learning* comme composé de 30 à 79% de temps consacré à l'apprentissage en ligne. Certains auteurs souhaitent également centrer la définition du *blended learning* sur le remplacement du temps de présence en classe conventionnelle par de l'apprentissage en ligne. Dans cette définition, le *blended learning* serait un cours qui intègre des activités en ligne aux activités traditionnelles en classe, lorsqu'une partie du temps en face à face est remplacée par une activité en ligne (Picciano, 2009). Cependant si ces définitions, qui insistent sur le remplacement de temps en présentiel par des activités en ligne, peuvent être utiles lorsqu'il s'agit de transformer un cours traditionnel en *blended learning*, elles deviennent inadéquates lorsque l'on considère la création d'un nouveau cours, ou l'intégration de nouveaux contenus pour lequel un temps de présence en classe n'est pas déterminé. En effet, lorsqu'un cours est créé en *blended learning*, les cours en ligne ne remplacent pas les cours en présentiel mais sont prévus dès le début de la conception. Finalement pour d'autres auteurs comme Rovai et Jordan (2004), la définition du *blended learning* devrait accentuer l'importance de l'apprentissage, de l'augmentation de l'intégration de la technologie dans les salles de classe et l'éducation. Il s'agirait alors de maximiser les bénéfices des cours traditionnels en présentiel et des méthodes d'apprentissage en ligne, en intégrant ces deux situations pédagogiques ensemble pour leurs

avantages spécifiques (Garrison & Kanuka, 2004; Halverson, Graham, Spring & Drysdale, 2012).

Puisque le *blended learning* constitue un domaine de recherche relativement récent, il existe un nombre limité d'études qui portent sur son efficacité. Selon un sondage mené en 2009 par Gormley, Collins, Boohan, Bickle et Stevenson, les étudiants en médecine ne souhaitent pas seulement étudier en ligne, mais également avec de multiples modalités, selon une approche mixte. C'est peut-être pour cette raison que la plupart des études font apparaître que les apprenants sont très satisfaits du *blended learning* et reconnaissent la richesse des interactions en présentiel et la flexibilité, la praticité et la réduction des coûts associés à l'apprentissage en ligne (Gormley, Collins, Boohan, Bickle & Stevenson, 2009; Ravenscroft, Tait & Hughes, 1998). En plus d'une grande satisfaction, certaines études font apparaître que le *blended learning* conduit à de meilleurs résultats que l'apprentissage en *e-learning* uniquement (Graham, 2013; Sitzmann, Kraiger, Stewart & Wisher, 2006). Certaines études montrent également que le *blended learning* peut être plus efficace que le seul apprentissage en face à face, mais ce n'est pas toujours le cas (Bernard et al., 2009; Graham, 2013; Rovai & Jordan, 2004). Selon les auteurs, cela est la preuve que l'apprentissage en ligne complète mais ne remplace pas, l'enseignement traditionnel en face à face. Une étude de Cantarero-Villanueva et al. (2012) comparait deux groupes d'étudiants en médecine lors d'un cours sur la palpation et l'utilisation d'ultrasons. Les deux groupes participaient à 6h d'ateliers pratiques en présentiel auxquelles s'ajoutaient 20h de travail personnel, soit avec des livres et textes sur le sujet (groupe contrôle), soit avec l'accès à un site web spécifique qui comportait des informations similaires (groupe expérimental). Lors d'une évaluation pratique, le groupe expérimental obtenait de meilleurs résultats. Ces résultats suggèrent que l'ajout de *e-learning* comme outil complémentaire aux cours en présentiel peut être bénéfique pour l'apprentissage.

Si le *blended learning* peut s'avérer efficace pour la formation des apprenants, aussi bien dans des contextes scolaires que professionnels, il est nécessaire de comprendre comment concevoir ce type de cours. Une question clé est de déterminer comment maximiser les avantages des deux modalités : l'apprentissage en face à face et l'apprentissage en ligne (Halverson, Graham, Spring & Drysdale, 2012). Puisque l'apprentissage en *e-learning* est considéré comme efficace, une grande partie du succès des expériences du *blended learning*

peut être attribuée aux capacités interactives des technologies de l'information et de la communication (Garrison & Kanuka, 2004). Cependant, pour concevoir une formation en *blended learning*, il ne s'agit pas seulement de trouver la bonne combinaison de technologies ou de combiner un module *e-learning* très bien conçu à un cours en présentiel. Le *blended learning* consiste fondamentalement à combiner les deux moyens de transmission en choisissant celui qui est le plus approprié pour chaque connaissance à transmettre, chaque exercice à réaliser et chaque discussion à conduire. Il ne suffit pas de traduire l'ancien contenu sur un support en ligne, mais de réfléchir à la manière de dispenser les connaissances (Garrison & Kanuka, 2004). À cet égard, le *blended learning* présente un défi particulier et souligne, comme le simple *e-learning*, l'importance d'un élément-clé : les interactions et la présence du formateur. Certains auteurs se demandent s'il existe une différence qualitative dans les interactions entre les cours en présentiel et les cours en ligne, ou entre les cours en environnements synchrone et asynchrone (Garrison & Kanuka, 2004). Lors d'un apprentissage en *blended learning*, le cours qui se déroule en partie en présentiel peut permettre d'assurer une certaine interaction avec le formateur et les autres apprenants, donc éviter l'isolement de l'apprenant. Pour Graham (2013), cette facette du *blended learning* pourrait constituer un élément-clé de l'efficacité des cours en *blended learning* par rapport aux cours en *e-learning* seul. Picciano (2009) considère également que le suivi par le formateur en présentiel est préférable au suivi en ligne, et que s'il faut choisir un contexte privilégié pour les échanges avec le formateur, le présentiel doit être préféré. Il est possible de conclure que l'un des éléments fondamentaux dans la conception de *blended learning* est de combiner plusieurs approches, notamment les technologies en face à face et en ligne, pour répondre aux besoins d'un large éventail d'apprenants (Picciano, 2009). Les différentes modalités pouvant être utilisées dans chaque contexte peuvent permettre aux apprenants d'apprendre de la manière qui leur convient le mieux, selon leur niveau d'expertise et leurs préférences.

En étudiant les travaux sur le *blended learning*, il est possible d'observer que la plupart de ceux-ci ne sont pas de nature empirique (Halverson, Graham, Spring & Drysdale, 2012). Une grande partie de la littérature est consacrée à la définition, à la conceptualisation et au potentiel du *blended learning*. Le sujet étant relativement récent, il est normal que les premières étapes soient de définir l'objet. Cependant, il est maintenant essentiel que les

auteurs commencent à explorer l'impact du *blended learning* et les façons de le concevoir pour induire des apprentissages plus efficaces (Garrison & Kanuka, 2004).

#### **4. Conclusion**

L'utilisation de documents pédagogiques et de cours en ligne apporte généralement de nombreux avantages par rapport aux cours délivrés uniquement en présentiel, tels qu'une plus grande flexibilité, la répartition des séances d'apprentissage sur une longue période de temps, le contrôle sur la progression de l'apprenant et la diminution des coûts (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Ils peuvent cependant présenter certains obstacles tels que les coûts de développement ou la difficulté d'acceptation (Allen & Seaman, 2007). Le *blended learning*, combinant les deux approches, permet de parer à certains inconvénients du *e-learning*. Il rend possible davantage d'interaction et permet de diminuer le besoin d'autodiscipline des étudiants par l'ajout de cours en présentiel. Le *e-learning* et le *blended learning* sont en règle générale appréciés par les apprenants et par les enseignants, qui expriment majoritairement de hauts taux de satisfaction (Graham, 2013). Ils sont également considérés comme un bon moyen de transmettre des connaissances aux apprenants, et peuvent être autant ou plus efficaces que l'apprentissage uniquement en présentiel (Bernard et al., 2009; Graham, 2013). Leur efficacité est particulièrement avérée lorsque la manière dont les apprenants traitent ces documents est prise en considération et que la conception de ceux-ci est orientée vers l'apprentissage. En effet, la situation de *e-learning* est particulière dans le sens où l'apprenant est seul face aux documents pédagogiques. Pour concevoir des situations de *e-learning* et de *blended learning* efficaces, il est donc nécessaire de porter une attention particulière à la conception des documents pédagogiques utilisés.

Pour concevoir des documents pédagogiques efficaces il est nécessaire de prendre en compte l'architecture cognitive humaine. Sweller (2006) définit 5 principes de fonctionnement de l'architecture cognitive humaine qui soutiennent sa théorie de la charge cognitive. La mémoire de travail dispose d'une quantité limitée de ressources cognitives et chaque tâche réalisée lors du traitement d'informations puise dans ces ressources. C'est cette utilisation de ressources de la mémoire de travail que Sweller (2016) nomme la *charge cognitive*. Il semble pertinent de limiter la charge cognitive extrinsèque, qui concerne les traitements des éléments non nécessaires à l'apprentissage, et d'adapter la charge cognitive

intrinsèque au niveau d'expertise de l'apprenant (Sweller, 2010). De plus, il est profitable de favoriser la charge cognitive pertinente qui est utile à l'acquisition de schémas en augmentant les efforts ou la motivation de l'apprenant (Sweller, 2010). Le modèle de l'apprentissage multimédia de Mayer (2014) permet de comprendre comment les documents qui comprennent des informations sous différents modes de présentation, sont traités par les apprenants. Les apprenants sélectionnent et organisent les informations utiles à partir des différents modes de présentation pour les intégrer en un modèle cohérent qui sera encodé en mémoire à long terme (Mayer, 2014). Ces processus cognitifs sont pertinents pour l'apprentissage et il est profitable de les favoriser lors de la conception de documents pédagogiques. Ces principes généraux apportent des bases de compréhension pour la conception de documents pédagogiques multimédias, quel que soit le contexte dans lequel ceux-ci sont utilisés. Ils doivent être pris en compte lors de la conception d'instructions, d'autant plus lorsque celles-ci sont le seul moyen de transmettre de l'information à l'apprenant lors de l'apprentissage en ligne. Cette prise en compte permet de faciliter la conception de documents efficaces pour le *e-learning* et le *blended learning*.

Cependant, nous avons vu au chapitre 1 qu'il existe d'autres types de connaissances que les connaissances déclaratives et que ces connaissances s'acquièrent différemment. De ce fait, on peut se demander si l'apprentissage en ligne est aussi efficace pour acquérir des connaissances procédurales. Pour certains auteurs, l'acquisition de connaissances procédurales semble moins appropriés en *e-learning* parce que les éléments déclaratifs de ces tâches peuvent être enseignés mais pas les composants procéduraux (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Le *blended learning* permettrait cependant de profiter des cours en présentiel pour enseigner les composants procéduraux. Si l'efficacité de l'apprentissage en ligne n'est plus à prouver pour l'acquisition de connaissances déclaratives, ce type d'apprentissage peut-il être aussi efficace pour l'apprentissage de gestes ou de procédures ? En vue de déterminer si les connaissances procédurales peuvent être efficacement apprises par des méthodes de *e-learning* ou de *blended learning*, il est d'abord nécessaire de comprendre comment les documents pédagogiques sont traités cognitivement par les apprenants lors de ce type d'apprentissage. Comme pour les connaissances déclaratives, la conception de supports pédagogiques en vue d'enseigner des procédures nécessite l'étude des processus cognitifs des apprenants lors du traitement des documents. Le chapitre

suisant, qui concerne l'apprentissage procédural et l'utilisation de documents procéduraux, s'inscrit dans cette perspective.

## **CHAPITRE 3 – APPRENTISSAGE PROCEDURAL ET TRANSMISSION DES CONNAISSANCES PROCEDURALES**

En psychologie, une distinction est faite entre mémoire déclarative et mémoire procédurale. La mémoire déclarative contient des informations factuelles ou conceptuelles : les connaissances déclaratives. La mémoire procédurale contient les savoir-faire encodés sous forme de règles de production : les connaissances procédurales. Ce chapitre concerne l'acquisition des connaissances procédurales. Une procédure est une séquence ordonnée d'étapes qui doivent être exécutées pour atteindre un but, en vue de transformer un état initial en un état final souhaité (Boekelder & Steehouder, 1998a; Heurley, 2001a). Les connaissances procédurales sont donc définies comme un ensemble de règles de production permettant d'atteindre un but. Ces connaissances s'expriment uniquement à travers les performances et leur réalisation.

L'objectif de ce troisième chapitre est de présenter les différences entre l'apprentissage déclaratif et l'apprentissage procédural, en insistant sur les spécificités de ce dernier ainsi que sur les spécificités des documents destinés à transmettre ces connaissances : les documents procéduraux. Il concerne particulièrement les situations d'apprentissage procédural médiatisées par des documents. La première section de ce chapitre aborde l'apprentissage procédural à travers le modèle ACT d'Anderson (1982, 1983, 2014) en présentant d'une part le concept de règles de production et d'autre part les trois phases de l'acquisition des connaissances procédurales. Une deuxième section traite ensuite des spécificités de l'apprentissage procédural : la nécessité de répéter la procédure pour son acquisition, et la façon dont les individus alternent entre la consultation des instructions et l'exécution des actions lors de l'apprentissage. La troisième section s'intéresse aux documents procéduraux et à la façon de les concevoir pour respecter les spécificités de l'apprentissage procédural.

### **1. L'apprentissage procédural**

L'apprentissage procédural se distingue de l'apprentissage déclaratif par la façon dont sont organisées et acquises les connaissances. Les connaissances procédurales sont définies comme un ensemble de règles de production permettant d'atteindre un but (Bovair &

Kieras, 1991 ; Fitts, 1964). Ces connaissances s'expriment à travers leur réalisation et sont difficilement exprimables de manière déclarative. L'apprentissage des connaissances procédurales ne peut se dérouler sans répétition de la procédure (Mayer, 2014). De nombreuses répétitions sont nécessaires pour traduire les instructions en connaissances procédurales, puis pour les mémoriser sous forme de règles de production. Ensuite celles-ci peuvent être automatisées. Cette première section présente le modèle ACT proposé par Anderson (1982, 1983, 2014). Elle commence par aborder la façon dont sont composées les règles de production. Elle traite ensuite de leur acquisition, qui se déroule en trois phases distinctes.

### **1.1. Connaissances procédurales et règles de production**

L'apprentissage de gestes et d'habiletés motrices est considéré comme un apprentissage procédural. Le modèle ACT (*Adaptive Control of Thought*) d'Anderson (1982) et ses évolutions, ACT\* (Koedinger & Anderson, 1990) et ACT-R (Corbett & Anderson, 1995), constituent l'un des principaux modèles dans ce domaine. L'utilisation du terme ACT fera référence, dans le début de ce chapitre, au modèle en général et non à une version spécifique. Le modèle consiste en un ensemble d'hypothèses concernant à la fois les connaissances procédurales et les connaissances déclaratives. Ce modèle s'appuie sur une architecture cognitive composée de trois systèmes de mémoire. La mémoire de travail est considérée comme un système de traitement de l'information. Elle assure le maintien temporaire de l'information, mais correspond surtout à un espace de traitement dans lequel s'accumulent les données nécessaires aux traitements ou produites au cours des raisonnements effectués par le système cognitif pour résoudre des problèmes. C'est dans cette mémoire que sont encodées les différentes étapes de la procédure. Les deux autres systèmes constituent la mémoire à long terme et reposent sur la distinction entre les connaissances procédurales et les connaissances déclaratives. La mémoire déclarative possède la capacité à représenter des faits abstraits. Elle contient des informations factuelles ou conceptuelles, organisées sous forme de réseaux sémantiques. Les connaissances déclaratives « se caractérisent notamment par le fait qu'elles sont généralement faciles à verbaliser et peuvent faire l'objet d'un apprentissage immédiat » (Heurley, 2001a, p.52). Enfin, la mémoire procédurale contient les savoir-faire encodés sous forme de règles de production, organisés en un ensemble qu'Anderson (1982) nomme le *système de production*. Ces règles de production précisent quelles actions doivent être effectuées en

fonction d'un ensemble particulier de conditions (Anderson, 2014). Contrairement aux connaissances déclaratives, les connaissances procédurales sont difficilement verbalisables (Heurley, 2001a). Cette sous-section va se concentrer principalement sur le pendant procédural du modèle.

Une connaissance procédurale peut être décomposée en une série de règles de production. Celles-ci sont les unités procédurales du modèle et sont constituées de deux parties : une partie relative aux conditions d'application et une partie relative à l'action (Anderson, 1982). Chaque règle de production revêt la forme d'une règle simple qui spécifie une condition dans laquelle elle s'applique et une action qui doit être réalisée lorsque la condition est remplie. Pour qu'une règle s'applique, la clause spécifiée dans sa condition doit correspondre aux informations actives en mémoire de travail (Anderson, 1982). Ces règles de production sont représentées dans le modèle d'Anderson sous forme « SI... ALORS... » (« IF... THEN... »). Par exemple : « SI le but est de générer le pluriel d'un mot, ALORS écrire *mot + s* ». La condition précise un but et l'action précise un moyen potentiel d'atteindre ce but. Les règles de production peuvent également contenir des emplacements variables qui peuvent contenir différentes valeurs dans différentes situations (Anderson, 1982). Par exemple, une variable peut représenter la condition d'application de la règle « SI la condition [C1] est remplie et SI le but [B] est à atteindre ALORS exécuter la procédure [P1] » (Heurley, 2001a). La variation de la condition [C] fera également varier l'application de la procédure [P]. Une connaissance procédurale est composée de plusieurs règles de production et des centaines de règles de production peuvent être nécessaires pour apprendre une procédure complexe. Les règles de production sont organisées en sous-programmes, chacun associé à un but propre et à un but commun, que toutes les règles de production dans le sous-programme tentent de réaliser (Anderson, 1982). Le système, dans le modèle ACT, ne peut avoir qu'un seul but actif à un même moment. Par conséquent, ne peuvent s'appliquer en même temps que les règles de production d'un seul sous-programme. Cela implique que le système agisse de façon progressive et que les règles de production soient organisées de façon hiérarchique (Anderson, 2014). Pour que le système fonctionne correctement, les règles de production s'appliquent de façon spécifique. Chaque règle ne peut par exemple, s'appliquer qu'une seule fois de la même façon aux mêmes données en mémoire de travail. Cela empêche la même règle de production de s'appliquer indéfiniment et donc la même

étape de se répéter indéfiniment. Des éléments de la théorie précisent également la façon dont les conflits entre règles sont résolus. Lorsque deux règles peuvent s'appliquer, et que l'une des deux est plus spécifique que l'autre, c'est celle-ci qui s'applique (Anderson, 1982). Par exemple, la règle de production présentée plus haut « SI le but est de générer le pluriel d'un mot, ALORS écrire *mot + s* » peut coexister avec la règle suivante « SI le but est de générer le pluriel de *cheval*, ALORS écrire *chevaux* ». Dans le cas où l'individu devrait mettre le mot « cheval » au pluriel, les deux règles peuvent s'appliquer mais la condition de la deuxième règle est plus spécifique. C'est donc celle-ci qui s'applique. Lorsque deux règles peuvent s'appliquer et qu'elles sont toutes deux également spécifiques, la règle de production ayant la force la plus importante a plus de chances d'être appliquée. Cette force représente la fréquence à laquelle une règle a été appliquée de façon efficace (Anderson, 1982).

Les règles de production sont plus proches de l'exécution des connaissances procédurales que des connaissances déclaratives, car le contrôle du comportement se situe dans ces règles de production. Pourtant, au début de l'apprentissage d'une connaissance procédurale ce sont des connaissances déclaratives qui sont apprises et non pas directement des règles de production (Anderson, 2014). Toutes les connaissances procédurales, et donc tous les gestes appris, commencent par être encodées sous forme de connaissances déclaratives. En effet, d'après ce modèle, les connaissances sont d'abord stockées sous une forme déclarative : elles peuvent être décrites verbalement, avant d'être converties en procédures et d'être intégrées dans la mémoire procédurale. Ce processus s'effectuerait en suivant trois phases (Anderson, 1983) : une phase déclarative, une phase de transition et une phase procédurale.

### **1.2. Les trois phases de l'apprentissage procédural**

Le modèle ACT d'Anderson (1982) est inspiré de Fitts (1964) qui considérait que l'acquisition de connaissances procédurales se déroulait en trois étapes. La première étape, appelée *phase cognitive* implique un codage de la connaissance procédurale sous une première forme qui permet à l'apprenant de générer le comportement désiré, ou au moins une approximation de celui-ci. Lors de cette phase, l'apprenant subvocalise, à voix haute ou mentalement, les informations nécessaires pour l'exécution de la procédure. La deuxième étape est appelée *phase associative*. Celle-ci permet la diminution des erreurs et une

performance plus homogène. En parallèle la vocalisation des instructions diminue. Lors de la troisième étape, ou *phase autonome*, l'exécution de la procédure s'améliore progressivement.

Le modèle Anderson s'accorde avec cet apprentissage procédural en trois phases. Lors de l'apprentissage, l'individu passe progressivement d'un traitement conscient à un traitement automatisé de l'information. Contrairement aux connaissances déclaratives, les connaissances procédurales ne peuvent pas faire l'objet d'un apprentissage immédiat (Heurley, 2001a). Ce changement s'effectue après un certain nombre de répétitions, et implique une diminution de la charge cognitive au fur et à mesure de l'automatisation des règles de production.

La première phase, nommée *phase déclarative*, correspond à la phase cognitive de Fitts (1964). Lors de cette première phase, l'apprenant reçoit des instructions et des informations concernant la réalisation de la procédure. Ces instructions sont encodées comme un ensemble de faits sur la procédure (Anderson, 1982), et donc sous forme de connaissances déclaratives. Cette phase d'apprentissage peut varier selon la difficulté de la procédure. Elle peut être très courte pour une tâche simple, et couvre le temps nécessaire pour comprendre les instructions et établir les règles de production appropriées pour la tâche (Fitts, 1964). Lors de cette phase, les informations déclaratives encodées par l'apprenant peuvent être utilisées par des processus généraux d'interprétation. Ces processus d'interprétation servent à traduire les instructions sous une forme exécutable (Richard, 1990). Lorsqu'on s'intéresse à la conception d'instruction, c'est cette phase qui s'avère la plus intéressante. En effet, lors de celle-ci, le recours aux instructions est systématique. L'apprenant traduit les instructions sous la forme d'une représentation déclarative de la procédure puis interprète cette représentation pour l'exécuter (Bovair & Kieras, 1991; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). Si les instructions sont conçues de manière inappropriée, elles pourraient compliquer l'élaboration de représentations correctes et être sources d'erreurs. La subvocalisation y est courante car les instructions doivent être répétées pour les maintenir accessibles en mémoire de travail. Cela est nécessaire pour que les processus d'interprétation puissent y accéder lors de chaque étape de la procédure (Anderson, 1982). Cette phase est très coûteuse en ressources cognitives car elle nécessite des processus fortement contrôlés, par exemple un fort contrôle attentionnel. La mémoire de travail est particulièrement sollicitée

par l'interprétation des informations déclaratives pour les traduire en actions (Beaunieux et al., 2006). Cela est très coûteux en termes de temps et de ressources cognitives. Le processus est lent parce que l'interprétation requiert la récupération d'informations déclaratives en mémoire à long terme, et que les étapes individuelles de production d'un processus d'interprétation sont petites (Anderson, 1982). Le processus d'interprétation nécessite que les informations soient maintenues en mémoire de travail, ce qui peut induire une charge cognitive importante. Des instructions mal conçues pourraient donc imposer une charge cognitive supérieure aux capacités de la mémoire de travail et surcharger celle-ci. Ce passage par une phase déclarative est nécessaire car il est potentiellement dangereux de créer de nouvelles règles de production sans les avoir testées. En effet, celles-ci ont un effet direct sur le comportement. Il existe par conséquent une possibilité qu'une règle non appropriée modifie et donc endommage le système de production (Anderson, 1982). Selon Anderson (1982), c'est pourquoi il est nécessaire que les nouvelles informations entrent en mémoire sous une forme déclarative avant d'être encodées sous forme de connaissances procédurales. Il serait, en effet, moins grave d'encoder des informations déclaratives sans les contrôler car bien que celles-ci puissent impacter le comportement, elles passent par un processus d'interprétation avant d'être appliquées et peuvent donc être vérifiées. C'est-à-dire que si l'application d'une nouvelle connaissance est inappropriée, alors elle peut être étiquetée comme telle et mise de côté.

La deuxième phase sert de transition entre la phase déclarative et la phase suivante. Elle correspond à la phase associative de Fitts (1964) et est nommée par Anderson (2014) *phase de compilation des connaissances*. Avec la pratique, la connaissance est traduite sous une forme procédurale, laquelle est directement appliquée sans nécessiter d'interprétation. Le processus par lequel les connaissances sont progressivement traduites d'une forme déclarative à une forme procédurale est appelé *compilation des connaissances* (Tenison & Anderson, 2015). Les procédures sont progressivement mémorisées, la subvocalisation et les erreurs disparaissent. Cette phase de transition est celle durant laquelle un processus important se déroule : la compilation des connaissances (Anderson, 1982). Ce processus, peut être divisé en deux sous-processus. Le premier correspond au processus de *procéduralisation*. Il permet de construire des règles de production de type « SI... ALORS... » (Tenison & Anderson, 2015). L'application de ces règles ne nécessite pas la présence des

informations déclaratives spécifiques en mémoire de travail. Les processus d'interprétation ne sont donc plus nécessaires. La procéduralisation permet également l'arrêt des subvocalisations car les informations déclaratives n'ont plus besoin d'être maintenues en mémoire de travail. Le second sous-processus est appelé *composition*. Il vise à combiner des séquences de règles de production qui se suivent dans la réalisation d'une procédure et de lier ces séquences en une seule règle de production (Anderson, 1982; Tenison & Anderson, 2015). Au début de la phase de compilation des connaissances, les règles de production qui sont créées correspondent à de petites étapes de réalisation de la tâche. Au fur et à mesure des répétitions, certaines étapes de la procédure sont combinées en des unités plus vastes, appliquées pour atteindre le même but que toutes les étapes qu'elles contiennent. La réalisation s'accélère grâce à la création de nouveaux opérateurs qui correspondent à des séquences d'actions (Anderson, 1982). Puisque la compilation se déroule progressivement, il est possible de détecter les compilations erronées, ce qui limite la probabilité d'erreurs. En effet, la compilation de connaissances ne se déroule que sur des séquences qui ont été testées et répétées. Cela permet de protéger le système car la compilation tend à ne produire que des règles de production efficaces. Cela permet également d'éviter l'introduction d'erreurs dans une procédure. Cette phase de compilation des connaissances permet d'accélérer l'exécution de la procédure, car l'interprétation n'est plus nécessaire (Richard, 1990). De plus, la composition de plusieurs étapes en une seule permet l'accélération de la procédure et l'unification de la procédure en une seule étape. Une conséquence importante de la compilation des connaissances est également qu'elle réduit la charge cognitive en mémoire de travail (Anderson, 1982; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). En effet, grâce au processus de procéduralisation, les connaissances déclaratives n'ont plus besoin d'être maintenues en mémoire de travail, ce qui libère des ressources cognitives. La compilation de courtes règles de production en une seule permet également de traiter comme une seule unité des étapes de réalisation plus longues, et donc de réduire la charge cognitive.

La dernière phase de l'apprentissage est la *phase procédurale* (Anderson, 1982), qui correspond à la phase autonome de Fitts (1964). Lors de cette phase, les règles de production sont récupérées directement en mémoire à long terme et la procédure est progressivement automatisée. La procédure est totalement acquise lorsqu'elle est stockée

en mémoire à long terme et peut être réalisée de manière automatique. Avec la pratique et la répétition de la procédure, celle-ci va s'appliquer de manière de plus en plus adéquate et rapide. Différents processus rendent cela possible : un processus de généralisation par lequel les règles de production deviennent plus vastes dans leurs possibilités d'application ; un processus de discrimination par lequel les règles deviennent plus précises ; et un processus de renforcement par lequel les meilleures règles de production sont renforcées et les moins bonnes affaiblies (Anderson, 1982). Le processus de généralisation a pour but d'extraire des éléments communs à partir de différentes règles de production. Ces éléments communs sont incorporés dans une règle de production qui s'appliquera dans des situations nouvelles, dans lesquelles les règles spécialisées originelles ne s'appliquent pas. Par exemple, au début de l'apprentissage de l'écriture, les règles concernant la création du pluriel d'un mot peuvent être séparées : « SI le but est de générer le pluriel de *crayon*, ALORS écrire *crayon + s* », « SI le but est de générer le pluriel de *chat*, ALORS écrire *chat + s* », « SI le but est de générer le pluriel de *table*, ALORS écrire *table + s* », etc. Le processus de généralisation devrait permettre de créer une nouvelle règle, s'appliquant sur un plus grand nombre de situations : « SI le but est de générer le pluriel d'un mot, ALORS écrire *mot + s* ». Le processus de discrimination permet de restreindre le champ d'application de procédures trop générales. Il est possible pour des règles de production de devenir trop générales soit à cause de processus de généralisation, soit parce que l'information critique n'avait pas été prise en compte lors de leur création. Une utilisation trop générale de la règle de production concernant le pluriel pourrait être le fait de générer le pluriel de « cheval », de « chou » ou de « hibou » en y ajoutant un « s ». La discrimination permet de restreindre l'application des règles uniquement aux circonstances appropriées. Enfin, le processus de renforcement vise le renforcement des règles les plus adaptées, qui seront déclenchées de façon plus automatisée, et d'éliminer les moins utiles ou celles menant à la production d'erreurs. À l'issue des différentes phases l'apprenant devrait être capable d'une exécution rapide et sans erreur de la procédure, avec un coût cognitif moindre grâce à l'automatisation de celle-ci. Des connaissances procédurales pleinement automatisées signifient par exemple, qu'un individu peut ajouter un « s » à la fin d'un mot au pluriel sans y penser.

L'existence de ces trois phases a été mise en évidence par certaines études. Tenison et Anderson (2015) ont par exemple étudié l'apprentissage de la résolution de problèmes de

mathématiques. Chaque participant réalisait un même problème trente-six fois parmi de nombreux autres problèmes distracteurs. Le problème ne comprenait pas toujours les mêmes valeurs et les résultats n'étaient donc pas semblables, mais d'un problème à l'autre la méthode de résolution l'était toujours. Les auteurs ont montré qu'au début de l'apprentissage, les participants utilisaient une méthode de calcul assez longue à appliquer. Le nombre de chiffres à additionner avait également un impact fort sur le temps de résolution au début de l'apprentissage. Par la suite, les participants ne passaient plus par un calcul détaillé mais récupéraient en mémoire la méthode de résolution du problème. Le nombre de chiffres à additionner n'avait plus d'effet. Cela confirme, pour les auteurs, la différence entre la phase déclarative et la phase de compilation des connaissances. Vers la fin de l'apprentissage, la récupération en mémoire semblait moins coûteuse cognitivement et était plus rapide que lors de la phase de compilation des connaissances. Pour Tenison et Anderson (2015), cela correspondrait à l'automatisation de la procédure. Beaunieux, et al. (2006) ont également réussi à faire apparaître une séparation entre la phase déclarative et la phase de compilation des connaissances. Il est pourtant assez difficile de faire une distinction nette entre les différentes phases car le processus d'apprentissage procédural est continu. Les phases de l'apprentissage de procédure ne sont pas clairement distinctes (Fitts, 1964). Beaucoup de comportements complexes sont produits par un ensemble de composants élémentaires, et les différents composants peuvent être à différents stades de l'apprentissage. Certaines parties de la tâche peuvent nécessiter plus de répétition que d'autres pour être mémorisées. Par exemple, une partie de la tâche est susceptible être réalisée de façon déclarative pendant qu'une autre partie est réalisée de façon compilée.

### **1.3. L'atomisation de l'action : Une spécificité de l'apprentissage procédural**

C'est dans la phase déclarative de l'apprentissage procédural que se déroulent les processus de création d'une représentation déclarative et de traduction de cette représentation sous forme utilisable (Richard, 1990). La majorité des activités de lecture et de traitement des instructions sont donc réalisées lors de cette phase. Dans le cas de l'apprentissage procédural, ces activités ne sont pas réalisées d'une seule traite par les apprenants. En effet, ceux-ci alternent spontanément entre la consultation des instructions et l'exécution de la procédure en suivant une succession de cycles courts (Heurley & Ganier, 2006; Vermersch, 1985). Ce phénomène d'alternance entre consultation et exécution que l'on nomme *l'atomisation de l'action* explique qu'au début d'un apprentissage procédural, pendant la

phase déclarative, la lecture est réalisée lentement et que de nombreux retours sur les instructions sont réalisés (Richard, 1990).

L'étude princeps qui montre ce phénomène d'atomisation de l'action est une étude qualitative de Vermersch (1985) sur le rapport de l'individu aux instructions. Dans celle-ci, il observait dix individus qui avaient pour consigne de réaliser une tarte aux pommes en suivant une recette présentée sous forme écrite. La recette était présentée en deux parties : les instructions pour réaliser la tarte aux pommes (à droite) et la liste des ingrédients (à gauche). La recette était affichée au mur en hauteur, ce qui obligeait les individus à lever la tête pour lire et permettait de repérer les moments de prise d'information. Vermersch (1985) a observé que l'activité était découpée en très petites actions entrecoupées de lecture. Il a nommé ces courtes actions des *actions élémentaires*. Celles-ci ne correspondaient pas à une instruction de la recette, mais à une fraction d'instruction. Entre chaque action élémentaire, les individus réalisaient de courtes consultations des instructions. Par exemple, pour exécuter l'instruction « Mettre la farine dans un saladier » qui est liée à l'élément « 200g de farines (8 cuillères à soupe pleines) » dans la liste des ingrédients, un individu peut alterner entre plusieurs étapes. Il va (1) commencer par lire l'instruction de la recette, (2) lire la quantité de farine nécessaire dans la liste des ingrédients, (3) revenir sur l'instruction de la recette, (4) prendre le saladier, (5) vérifier la quantité de farine dans la liste des ingrédients, (6) prendre la farine, (7) vérifier la quantité de farine, (8) commencer à compter le nombre de cuillerées, (9) vérifier la quantité de farine, (10) ajouter une cuillerée, (11) vérifier la quantité de farine, (12) ajouter les cuillerées manquantes, (13) tout verser dans le saladier. Cet exemple fait apparaître que la découpe d'une procédure en actions élémentaires est liée aux consultations qui interrompent l'action. Vermersch (1985) a relevé que dans la majorité des cas, les individus réalisaient une seule action élémentaire après une consultation des instructions. C'est ce qu'il nomme *l'atomisation maximum*. Par exemple, dans le cas où un participant consultait « Verser la farine dans le saladier », il allait chercher le saladier, puis relisait la consigne, puis allait chercher la farine, etc. Cela représentait 67% des enchaînements entre action et consultation. Pour l'auteur, l'atomisation de l'action n'est pas liée à la difficulté de la recette ou l'incompréhension des individus. Si cela était le cas, les individus répéteraient souvent la même action élémentaire mais cela est très rare. De plus, puisque les instructions sont

plutôt courtes, il est peu probable que les individus aient éprouvé des difficultés à rappeler l'instruction. Il est fort possible que les participants aient été capables de répéter correctement la ou les dernières instructions lues. Pour Vermersch (1985) l'atomisation de l'action ne serait pas liée à la difficulté du texte, ni des actions, mais à la difficulté de mise en correspondance entre les deux. La difficulté se situerait donc dans la traduction des instructions déclaratives en gestes. Il est possible de lier cette hypothèse de Vermersch (1985) aux processus d'interprétation dans la théorie ACT. En effet, Anderson (1982) avance que les étapes de production des processus d'interprétation sont obligatoirement courtes car elles sont très coûteuses pour l'apprenant. Cela pourrait expliquer les très nombreuses alternances entre l'action et la consultation des instructions constatées lors de l'apprentissage procédural. Ce serait l'importante charge cognitive liée à ces processus d'interprétation qui serait la cause de l'atomisation de l'action.

Le phénomène d'atomisation de l'action serait donc lié aux limites de la capacité de traitement et de stockage de la mémoire de travail (Richard, 1990). Empêcher cette alternance pourrait par conséquent faire diminuer les performances des individus en provoquant une surcharge cognitive. Dixon (1982) a réalisé une étude dans laquelle les participants devaient manipuler une simulation de dispositif électronique sur ordinateur, en actionnant des potentiomètres et des boutons afin de régler des cadrans. Il comparait la réalisation de la procédure dans deux conditions : une exécution immédiate d'instructions présentées une à une ou une exécution de mémoire de l'ensemble des instructions. Dans le premier cas, les participants devaient réaliser chaque étape juste après avoir consulté l'instruction correspondante puis l'instruction suivante s'affichait sur l'écran. Dans le deuxième cas, les instructions s'affichaient l'une après l'autre sur l'écran. Après avoir consulté toutes les instructions, les participants devaient réaliser la procédure dans son intégralité. Ils devaient la réaliser de mémoire et se rappeler de chaque étape. Les individus qui réalisaient l'ensemble de la procédure de mémoire consultaient les instructions plus longtemps et commettaient beaucoup plus d'erreurs que les individus qui réalisaient la procédure étape par étape. Le nombre d'erreurs étant très faible lorsque les participants réalisent les instructions immédiatement. La performance était sûrement faible dans les essais à performance de mémoire à cause des limites de la mémoire de travail. Si l'atomisation de l'action est nécessaire à cause des processus d'interprétation très coûteux

pour l'apprenant, ce processus devrait caractériser majoritairement les premières phases de l'apprentissage. En effet, c'est lors de la phase déclarative que les processus d'interprétation sont les plus utilisés, car la phase de compilation des connaissances permet de se passer de ces processus (Anderson, 1982). De plus, les instructions sont beaucoup moins consultées lors de la phase de compilation des connaissances, et ne le sont généralement plus durant la phase d'automatisation.

## **2. Aspects cognitifs de l'apprentissage procédural : Comprendre, agir, répéter**

Lors de la phase déclarative de l'apprentissage procédural, pour pouvoir exécuter la procédure, les apprenants doivent traiter les instructions puis les traduire sous une forme exécutable (Heurley & Ganier, 2006). Cela implique tout d'abord de construire une représentation des informations présentes dans les instructions. Puis cette représentation doit être traduite par les processus d'interprétation pour pouvoir être exécutée (Bovair & Kieras, 1991; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). Cependant, lors de l'apprentissage de procédures la compréhension des instructions n'est pas réellement séparée de l'action. Ces deux activités ont tendance à se produire de façon alternée : c'est l'atomisation de l'action (Vermersch, 1985). Le fait d'exécuter les actions va permettre l'apprentissage de celles-ci, alors que la lecture des instructions permet surtout l'apprentissage des instructions (Diehl & Mills, 1995). La réalisation de la procédure devrait permettre de créer un modèle mental ou un schéma de la procédure en mémoire à long terme. Dans la théorie ACT c'est le processus de procéduralisation qui permet cela (Tenison & Anderson, 2015). L'action est donc nécessaire pour construire une connaissance procédurale, mais une seule réalisation de la procédure ne suffit pas. De nombreuses répétitions sont nécessaires pour traduire les instructions sous une forme exécutable, puis pour les stocker en mémoire à long terme sous forme de règles de production, et enfin pour les automatiser (Anderson, 2014). Cette section concerne les différents processus cognitifs à l'œuvre dans l'apprentissage de procédures. La première sous-section commence par aborder le traitement et la compréhension des instructions. La seconde sous-section traite de la nécessité d'action inhérente à l'apprentissage procédural. Enfin, la troisième sous-section présente une autre caractéristique de l'apprentissage procédural : la nécessité de répéter la procédure pour l'acquérir.

## **2.1. Comprendre : Le traitement des instructions**

L'apprentissage d'une procédure à partir d'un document procédural est une situation d'apprentissage complexe qui nécessite de traiter les informations déclaratives des instructions, puis de transformer les connaissances déclaratives ainsi créées en connaissances procédurales (Heurley & Ganier, 2006). Cette transformation des instructions sous une forme exécutable va permettre à l'apprenant de réaliser les actions. Pour que ce passage à l'action puisse se dérouler, il faut tout d'abord que l'apprenant traite une partie des instructions et construise une représentation des informations.

Puisque les apprenants ne lisent pas les instructions entièrement avant d'agir, les activités de traitement des instructions alternent avec l'action. Les processus cognitifs utilisés lors de la lecture d'un document procédural n'interviennent donc pas seuls dans la construction d'un modèle mental ou d'un schéma de la procédure apprise. Ce schéma procédural est créé par la combinaison du traitement des instructions et de la réalisation de l'action. Le traitement et l'organisation des informations sont effectués en mémoire de travail (Ganier, 2002). Pour Ganier, Gombert et Fayol (2000), l'apprenant doit tout d'abord former et maintenir un but en mémoire de travail. Ce but va diriger la lecture et l'action. L'apprenant peut connaître ce but avant de commencer la tâche ou ce but peut être formé à partir des instructions. La formation et le maintien du but en mémoire seraient indispensables au traitement d'un document procédural. L'apprenant doit également localiser et sélectionner les informations utiles dans le document. Ce premier processus de sélection peut combiner, dans le cas d'un document multimédia, les processus de sélection des mots pertinents et de sélection des images pertinentes décrits par Mayer (2014). Cela va permettre à l'apprenant d'encoder la partie des instructions qu'il a sélectionnée. Ces informations seraient organisées dans des représentations structurées cohérentes : un modèle verbal ou un modèle imagé (Mayer, 1997). Selon Ganier, Gombert et Fayol (2000), il doit également encoder les caractéristiques de l'objet, du dispositif ou du matériel utilisé. Ensuite, une représentation intégrée de l'ensemble serait élaborée avec les modèles mentaux organisés à partir des informations issues des instructions, du dispositif et, si l'apprenant en dispose, des connaissances préalables en mémoire à long terme (Ganier, Gombert & Fayol, 2000; Mayer, 2014). Selon Anderson (1982), le modèle mental intégratif créé serait de nature déclarative. Ce sont les processus d'interprétation qui vont permettre de traduire cette représentation déclarative en représentation procédurale, ou plan d'action, permettant la réalisation d'une

partie de la tâche (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Cette interprétation permet la transformation d'informations linguistiques ou picturales en actions motrices. Pour Wright et Wilcox (1978), la création de ce plan d'action peut se dérouler pendant la lecture ou en dehors de la consultation du document, pendant une période de réflexion ou même en parallèle de la réalisation des actions.

Plusieurs processus vont donc devoir être effectués avant que l'apprenant puisse commencer à réaliser une action : la formation d'un but en mémoire, la sélection et l'organisation des informations provenant des instructions, l'encodage des informations provenant du matériel, la création d'une représentation intégrée et la transformation de cette représentation sous une forme exécutable (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). D'autres processus de traitement des instructions peuvent également être réalisés après avoir exécuté tout ou partie de la procédure. En effet, l'apprenant peut réaliser un contrôle en comparant les informations contenues dans les instructions à l'état du dispositif après chaque étape, si les instructions comportent des critères de comparaison. Il peut également utiliser les instructions pour réguler sa réalisation (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Si l'activité de contrôle fait apparaître des différences entre l'état du dispositif et le résultat attendu, précisé dans les instructions ou correspondant au but initial formé, l'apprenant peut réguler son activité en faisant un retour sur les instructions et en les traitant à nouveau pour se corriger. Ces activités peuvent être réalisées et répétées jusqu'à ce que l'apprenant atteigne son but final.

Comme spécifié dans la section précédente, les activités de traitement des documents procéduraux ne sont généralement pas faites en une seule fois sur l'ensemble du document mais alternent avec la réalisation des actions décrites dans les instructions (Vermersch, 1985). Les activités décrites se déroulent donc généralement sur une instruction ou une partie d'instruction. Les plans d'actions ainsi créés lors de la phase déclarative représentent donc une courte action. Ce n'est que lors de la phase de compilation des connaissances que le processus de composition permettra de construire des séquences d'action plus larges à partir des règles de production créées par le processus de procéduralisation (Tenison & Anderson, 2015). Ces processus sont permis par l'activité de réalisation de la procédure. Dans une situation d'apprentissage procédural, l'activité principale de l'apprenant est de

réaliser une tâche pour l'apprendre et ne se réduit pas à l'activité de lecture mais suppose une activité d'utilisation (Ganier & Heurley, 2005; Heurley, 1997)

## **2.2. Agir : La réalisation de la procédure**

Une des caractéristiques importantes de l'apprentissage procédural est que la réalisation des actions est nécessaire pour acquérir une connaissance procédurale (Geeraerts & Trabolt, 2011; Pastré, 2005). Dans le modèle ACT d'Anderson (2014), la pratique de l'activité est nécessaire pour passer d'une connaissance déclarative à une connaissance procédurale. Le processus de procéduralisation ne se déroulerait qu'avec l'action. Cela pourrait signifier que la lecture des instructions permet la construction d'un modèle mental déclaratif, alors que l'action permet la construction d'un modèle mental procédural. Contrairement à d'autres formes de représentations, la qualité de ce modèle mental procédural, ou « plan mental » est déterminée principalement par la tâche et non par les instructions à partir duquel il a été construit (Dixon, 1987). C'est la qualité de réalisation de la tâche qui permet d'évaluer la qualité du modèle.

Dans deux expériences de Diehl et Mills (1995), des étudiants devaient lire un texte expliquant comment utiliser une horloge numérique, et comment construire et utiliser une petite voiture à bobine. Les participants étaient répartis selon plusieurs conditions : ceux qui n'avaient accès qu'au texte, ceux qui avaient accès au texte et pouvaient regarder le matériel, ceux qui avaient accès au texte et pouvaient regarder l'expérimentateur exécuter les actions décrites et ceux qui avaient accès au texte et pouvaient exécuter les actions décrites. Après cette phase d'apprentissage, les participants devaient rappeler le contenu des instructions, répondre à des questions sur celles-ci et réaliser la procédure. Les participants qui avaient pu exécuter les actions réalisaient la tâche plus rapidement que les autres, mais avaient de moins bons scores que les autres participants à la tâche de rappel. Pour les auteurs, le fait de réaliser les actions va permettre de construire un meilleur modèle mental de la tâche ce qui permet de meilleures performances en réalisation de la tâche. La simple lecture des instructions permettrait, au contraire, de construire un meilleur modèle verbal ce qui permet de meilleures performances de rappel des instructions.

Il semblerait cependant que dans le cas d'instructions décrivant des actions, la réalisation lors de l'encodage permette généralement d'améliorer le rappel, que celui-ci soit verbal ou moteur (Allen & Waterman, 2015; Jaroslawska, Gathercole, Allen & Holmes, 2016). Allen et

Waterman ont comparé les effets de l'action à l'apprentissage sur les performances de rappel sur des séquences d'actions. Les participants devaient apprendre des séquences de cinq actions de type « Poussez le carré » ou « Touchez le cercle ». Les séquences d'actions étaient présentées oralement aux participants. Ceux-ci avaient soit la consigne de réaliser les actions décrites, soit de ne rien faire. Une phase de rappel était réalisée immédiatement après la fin de la phase d'apprentissage. Les participants devaient soit rappeler les instructions oralement ou en réalisant les actions décrites. Le fait d'avoir réalisé les actions lors de la phase d'apprentissage avait un effet positif quel que soit le type de rappel. Dans une expérience similaire, Jaroslawska, Gathercole, Allen et Holmes (2016) ont également montré que le fait de réaliser les actions lors de la lecture des instructions permettait de meilleures performances de rappel, que celui-ci soit verbal ou moteur. Cependant les meilleures performances étaient obtenues lorsque les participants qui avaient exécuté physiquement les instructions lors de leur lecture devaient les rappeler de façon motrice.

Pour certains auteurs (Cohen, 1989 ; Jaroslawska, Gathercole, Allen & Holmes, 2016), ces résultats pourraient démontrer la présence d'un sous-système de la mémoire de travail qui stockerait les informations motrices. Le fait de lire et de réaliser les actions permettrait donc un double codage : moteur et verbal, ce qui améliorerait les performances de rappel non seulement moteur mais également verbal. Une autre hypothèse serait que puisque les processus d'interprétation nécessitent un traitement cognitif complexe des instructions pour les traduire sous forme exécutable, la réalisation des actions à l'apprentissage permettrait de construire un modèle mental plus complet, permettant également d'améliorer les performances de rappel verbal. En effet, ces études (Allen & Waterman, 2015; Diehl & Mills, 1995; Jaroslawska, Gathercole, Allen & Holmes, 2016) se basent sur une réalisation unique de la procédure. Selon le modèle d'Anderson (2014), le passage d'une représentation déclarative des instructions à une représentation procédurale détachée de celles-ci ne se fait que progressivement. Au début de l'apprentissage procédural, lors de la phase déclarative, les apprenants doivent s'appuyer sur un modèle déclaratif des instructions, traduit par les processus d'interprétation, pour réaliser la procédure. Ce n'est qu'après plusieurs répétitions qu'une représentation procédurale sera créée à l'aide des processus de procéduralisation (Anderson, 1983). Pour acquérir une connaissance procédurale il faut comprendre les instructions, donc créer une représentation déclarative de ces instructions,

mais également exécuter ces instructions pour pouvoir créer des règles de production stockées en mémoire à long terme. La création de ces règles de production est permise par la répétition. En effet, une seule répétition de la procédure ne suffit généralement pas.

### **2.3. Répéter pour apprendre**

La progression dans les phases de l'apprentissage procédural nécessite la répétition de la procédure. Cette nécessaire répétition constitue l'une des distinctions principales entre l'acquisition de connaissances déclaratives et l'acquisition de connaissances procédurales (Mayer, 2014). La meilleure façon de mémoriser une procédure est de la répéter. C'est pourquoi l'apprentissage procédural est un processus beaucoup plus progressif que l'apprentissage de connaissances déclaratives. Le nombre de répétitions d'une procédure ou le nombre d'heures de pratique nécessaire peut varier largement selon la connaissance procédurale visée. Anderson (1982) avance qu'au minimum une centaine d'heures seraient nécessaires pour acquérir un degré raisonnable de maîtrise d'une procédure complexe. Pour une procédure courte et simple, peu d'essais peuvent être nécessaires pour la transférer en mémoire à long terme et la réaliser quelques jours plus tard sans faire d'erreurs. Ganier, Hoareau et Devillers (2013) ont par exemple montré qu'une procédure simple de maintenance (16 ou 25 étapes) pouvait être acquise en 5 essais. Au-delà, les apprenants atteignaient un plateau, marquant l'acquisition de la procédure. Cependant pour une procédure plus complexe, comme la réalisation d'un test sanguin, Hoareau, Querrec, Buche et Ganier (2017) ont montré que 7 essais n'étaient pas suffisants pour acquérir la procédure. La complexité et la longueur de la procédure va impacter le nombre d'essais nécessaires à l'apprentissage. Le nombre de répétitions nécessaires pour acquérir une procédure dépend également de caractéristiques individuelles, comme de bonnes habiletés au traitement de l'écrit qui peuvent faciliter le traitement des instructions lors de la phase déclarative, de bonnes habiletés en imagerie mentale qui peuvent faciliter l'acquisition de procédures de raisonnement spatial, ou encore des connaissances préalables sur une procédure similaire à celle apprise qui peuvent faciliter la construction d'une représentation de la procédure (Ganier & Heurley, 2005; Hegarty et al., 2007; Tricot, 1998). Quoi qu'il en soit, un entraînement répété est critique pour l'acquisition de la connaissance procédurale, et donc pour son automatisation (Anderson, 2013; Boucheix, 2015; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013; Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017). C'est par l'action que l'on apprend à réaliser une tâche, à maîtriser une habileté, et il est nécessaire pour l'apprenant de répéter

un même geste, une même situation jusqu'à l'acquisition de celle-ci (Geeraerts & Trabolt, 2011; Pastré, 2005). Par exemple, dans le domaine musical il a été montré qu'une plus grande quantité de pratique de chaque musicien était corrélée à une meilleure performance, rejetant l'hypothèse que les musiciens les plus « doués » avaient besoin de moins d'entraînement (Ericsson, 2017). De même, le nombre d'heures d'entraînement des joueurs d'échecs était corrélé à leur niveau (Ericsson, 2017). L'apprentissage de ces connaissances procédurales se déroulerait donc par la répétition de la procédure : sans entraînement il n'y a pas d'apprentissage procédural.

Dans le modèle ACT d'Anderson (1982, 1983, 2014) le processus de compilation, qui permet de combiner des étapes courtes de la procédure en unités plus larges, ne se déroule que sur les séquences de production efficaces, et ce grâce à la répétition. C'est le fait que la répétition soit nécessaire à ce processus qui soutient sa tendance à ne produire que des règles de production efficaces. Pour Anderson (1982) cette nécessité de l'entraînement est un des avantages majeurs de l'apprentissage par l'action. Puisqu'au départ, toutes les connaissances acquises explicitement sont construites sous forme déclarative, aucune différence n'est réellement faite entre les connaissances réellement déclaratives et les connaissances qui deviendront procédurales. Avant de l'utiliser, il n'est pas possible de savoir quelle connaissance deviendra une procédure. Il est donc nécessaire que le processus de compilation résulte de la mise en pratique et de l'entraînement. Cette transformation progressive permet également de réduire la probabilité d'erreurs dans la construction des connaissances procédurales (Anderson, 1982). Pour atteindre la phase procédurale, il est nécessaire de répéter la procédure un certain nombre de fois. Avec l'entraînement, les connaissances procédurales sont renforcées pour que la performance devienne plus fiable et plus rapide (Corbett & Anderson, 1995). Alors que l'apprenant s'entraîne, la probabilité que la procédure soit acquise devient plus importante. À chaque opportunité de pratique, la probabilité que la procédure soit acquise augmente. Les apprenants changent de phase d'apprentissage avec la pratique, passant d'une première phase lente et qui repose sur les instructions à l'automatisation de la procédure (Corbett & Anderson, 1995). Corbett et Anderson (1995) ont essayé de modéliser l'apprentissage d'une procédure. Le but était que les apprenants atteignent la maîtrise de la connaissance procédurale visée. Dans une expérience, ils ont demandé à des étudiants d'apprendre à appliquer 21 règles de

production concernant la programmation informatique. Les participants devaient tous réaliser 158 cas d'application de ces règles, réparties en 25 exercices. Ensuite, selon le niveau de l'apprenant le modèle ajoutait des exercices supplémentaires destinés à corriger les erreurs et à permettre la maîtrise de la procédure. Le nombre d'exercices supplémentaires moyen était de 14 en moyenne, entre 1 et 38 selon les étudiants. Le nombre de répétitions nécessaires pour acquérir une connaissance procédurale dépend donc des individus, de leurs connaissances préalables du domaine ou de domaines similaires et de leurs caractéristiques personnelles en plus de la difficulté de la tâche. Pourtant, dans tous les cas, davantage d'entraînement permet d'augmenter les performances des apprenants (Corbett & Anderson, 1995). Même si le nombre d'essais nécessaires pour l'acquisition et les performances au début d'une tâche peuvent dépendre des caractéristiques individuelles des apprenants, la variabilité individuelle diminue avec l'entraînement (Beaunieux et al, 2006; Keehner, Lippa, Montello, Tendick & Hegarty, 2006). L'accès à une procédure acquise, automatisée, que l'apprenant peut directement récupérer en mémoire à long terme ne peut résulter de la seule formation théorique et nécessite un entraînement pratique (Anderson, 2013; Ganier, Hoareau & Devillers, 2014; Grau, Doireau & Poisson, 1998; Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017). Cet apprentissage explicite peut passer par l'utilisation de documents procéduraux. Il est donc nécessaire qu'ils soient conçus pour favoriser l'acquisition et l'automatisation de la procédure.

### **3. Conception des documents procéduraux**

Dans la mesure où l'apprentissage procédural est particulier et différent de l'apprentissage déclaratif, les documents pédagogiques utilisés doivent être conçus en tenant compte de ces spécificités. Cohen (1989) considère que les psychologues de l'éducation qui formulent des recommandations de programme d'enseignement fondées sur des principes tirés des recherches sur la mémoire, doivent être conscients qu'il existe des sortes d'événements en mémoire autres que verbaux. En effet, les rédacteurs techniques chargés de la conception d'instructions doivent prendre en compte que le but de l'utilisateur peut être l'apprentissage et non la simple réalisation d'une tâche. Un document procédural est un document dont la fonction principale est de communiquer une procédure, sa consultation débouche normalement sur la production d'actions (Heurley & Ganier, 2006). Ces documents étant généralement la principale source d'informations lors de l'apprentissage, le soin apporté à

leur conception est essentiel. Il est nécessaire de prendre en compte les spécificités de l'apprentissage procédural et les particularités liées au traitement de ces documents (Ganier & Heurley, 2005). La phase déclarative, où le texte est traduit sous la forme d'une représentation déclarative de la procédure (Bovair & Kieras, 1991), constitue la phase principale d'utilisation des instructions. Les instructions doivent donc être conçues principalement pour une utilisation lors de cette première phase. Dans les phases suivantes, l'utilisation des instructions diminue. Cette section commence par présenter les différents objectifs pour lesquels des documents pédagogiques peuvent être utilisés et l'importance de ceux-ci dans leur utilisation par les individus. La deuxième sous-section aborde quelques notions de conception des documents procéduraux pour faciliter leur traitement, la sélection des informations pertinentes et la construction de modèles mentaux. La troisième sous-section concerne la conception des instructions pour la réalisation des procédures.

### **3.1. Objectifs de l'utilisation d'instructions**

Pour concevoir des documents pédagogiques adaptés, il est nécessaire de prendre en compte l'objectif de leur utilisation. La lecture d'instruction est un processus qui varie selon l'objectif du lecteur. Ce processus peut changer selon l'intérêt du lecteur, le type d'information lue ou encore les objectifs pédagogiques. Par ailleurs, les caractéristiques structurelles d'un texte peuvent influencer le processus de lecture. Ainsi, Mills, Diehl, Birkmire et Mou (1995) ont montré que les individus ne traitaient pas les informations de la même manière selon le type de rappel attendu. Dans une expérience, ils ont demandé aux participants de lire des textes procéduraux. Le texte était présenté sur un écran d'ordinateur grâce à un programme d'auto-présentation qui permettait aux participants d'afficher une phrase à la fois. Ce programme enregistrait automatiquement le temps d'exposition pour chaque phrase en millisecondes. Avant de commencer la lecture, la moitié des participants étaient informés que leur objectif était de réaliser la tâche décrite et l'autre moitié qu'ils devaient rappeler les instructions. Après la consultation des instructions, les deux groupes de participants réalisaient les deux types de rappel : ils devaient rappeler le maximum de phrases du texte, puis ils devaient réaliser la procédure. Mills, Diehl, Birkmire et Mou (1995) ont relevé un effet d'interaction entre l'objectif donné aux participants et le type de rappel : les participants qui avaient pour objectif de réaliser la procédure élaboraient un modèle de situation plus complet et étaient capables de réaliser la tâche beaucoup mieux que ceux qui avaient pour objectif de rappeler le texte. En revanche, les participants qui avaient pour

objectif de rappeler les instructions développaient une meilleure représentation du texte et étaient capables de rappeler davantage d'informations lors de la tâche de rappel que ceux qui avaient pour objectif de réaliser la procédure. Les auteurs ont également montré que les participants ayant pour but l'exécution ajustaient plus leur vitesse de lecture en fonction de l'importance des éléments que les participants ayant pour but le rappel. Cette expérience fait apparaître l'importance du but assigné au lecteur sur l'apprentissage. L'objectif de consultation des instructions influence donc la stratégie de lecture et les informations ne seront pas encodées de la même façon (Mills, Diehl, Birkmire & Mou, 1995; Yang, Allen, Yu & Chan, 2015). En effet, si les apprenants ont simplement pour but de rappeler un texte procédural alors ils le mémoriseront simplement comme un texte et non comme une procédure (Bovair & Kieras, 1991).

Une première distinction peut être faite entre deux types d'objectif de consultation de documents : « *reading to do* »<sup>3</sup> ou « *reading to learn* »<sup>4</sup> (Sticht, 1985). Dans le premier cas, après avoir localisé et appliqué l'information, celle-ci peut être oubliée. L'objectif est d'extraire de l'information des instructions pour l'appliquer immédiatement dans la réalisation d'une tâche. Après avoir réalisé la tâche, l'individu n'a pas besoin de conserver l'information en mémoire. Puisque l'information est stockée dans les instructions, il n'est pas nécessaire de la stocker en mémoire (Redish, 1989). Si l'individu a besoin de réaliser la tâche une nouvelle fois, il peut simplement la rechercher dans les instructions. C'est ce type de tâche de lecture, dans laquelle l'information est recherchée, utilisée, puis peut être oubliée que Sticht (1985) nomme « *reading to do* »<sup>3</sup>. Dans le deuxième cas, l'utilisateur a pour objectif d'extraire et de retenir l'information en mémoire à long terme, pour pouvoir la rappeler plus tard. Diverses stratégies d'études peuvent être utilisées, comme relire ou souligner les informations importantes, pour ce type de tâche que Sticht (1985) nomme « *reading to learn* »<sup>4</sup>. L'effet de l'objectif de lecture a été mis en évidence par différentes expériences. Dixon (1987) a montré que les individus organisaient leur lecture des instructions de manière différente, s'ils avaient pour objectif de réaliser les actions ou de rappeler verbalement les instructions. Une étude de Kieras (1981) indique également que la tâche que les individus doivent réaliser modifie la façon dont ils lisent un texte. Lire pour

---

<sup>3</sup> « lire pour faire »

<sup>4</sup> « lire pour apprendre »

apprendre ou lire pour faire implique des processus différents. Les instructions procédurales doivent être traitées avec l'intention de réaliser les actions décrites (Yang, Gathercole & Allen, 2014).

Redish (1989) décrit un troisième objectif de consultation d'instructions : « *reading to learn to do* »<sup>5</sup>. Dans ce type de tâche, il s'agit d'apprendre une procédure. L'utilisateur consulte les instructions à la fois pour réaliser la tâche mais également pour apprendre la procédure permettant de la réaliser. Les apprenants utilisent les instructions et les réalisent, pas seulement pour réaliser une tâche, pour comprendre le fonctionnement d'un système ou pour rappeler les instructions, mais pour pouvoir réaliser ultérieurement la tâche de façon efficace et efficiente. Des instructions qui ont pour but l'apprentissage d'une procédure, comme un tutoriel pour l'apprentissage de l'utilisation d'un logiciel, se distingueraient ici des instructions qui ont pour but une réalisation unique, comme une notice de montage de meuble, ou de documents qui ont pour but l'apprentissage de connaissances déclaratives. Pour les documents procéduraux, l'objectif est de communiquer une procédure pour une exécution ponctuelle ou un apprentissage à long terme (Heurley, 2001b). Les objectifs des utilisateurs peuvent donc être de « lire pour faire » ou de « lire pour apprendre à faire ». Pour les documents narratifs ou expositifs, l'objectif est d'informer le lecteur. Ces types de documents servent des objectifs différents et doivent être conçus de façon différente car ils seront utilisés de façon différente (Redish, 1989).

Ce chapitre concerne l'apprentissage procédural et s'intéresse donc particulièrement aux documents utilisés dans l'objectif d'acquérir un savoir-faire nouveau. Le but de la consultation et de l'exécution des instructions est donc d'obtenir des savoirs procéduraux moteurs, explicites et de développer cette connaissance procédurale d'une façon qui permette de réaliser la procédure automatiquement et avec moins d'erreurs (van Genuchten, van Hooijdonk, Schüler & Scheiter, 2013). Dans ce cas, les apprenants doivent construire un modèle mental des informations contenues dans le document puis un modèle mental procédural leur permettant la réalisation. Un document qui vise l'apprentissage d'une connaissance procédurale doit donc être conçu pour faciliter les activités réalisées : le traitement des instructions et la réalisation des actions.

---

<sup>5</sup> « lire pour apprendre à faire »

### **3.2. Concevoir des documents procéduraux pour faciliter leur traitement**

Les documents procéduraux doivent donc être conçus en prenant en compte la manière dont les utilisateurs les consultent. C'est lors de la première phase de l'apprentissage procédural que les apprenants consultent le plus les instructions. Ils réalisent alors différents types d'activités vues dans la section précédente. Cette sous-section concerne la façon de concevoir les documents procéduraux pour faciliter les activités sur ces documents : il s'agit de la formation d'un but pour diriger la lecture et l'action, de la sélection des informations utiles pour réaliser la tâche, de l'encodage des instructions, de l'élaboration d'une représentation intégrée et des processus de contrôle et de régulation de l'activité (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). La conception des documents en vue de faciliter les activités en lien avec la réalisation des actions sera abordée dans la sous-section suivante.

Au début de la tâche d'apprentissage, l'individu doit élaborer une représentation du but. Celle-ci est maintenue en mémoire jusqu'à ce que la tâche soit terminée (Ganier, 2004). L'objectif général est généralement connu par l'apprenant mais les sous-buts, correspondants aux objectifs spécifiques des différentes actions, sont spécifiés par les instructions. Par exemple, une procédure ayant pour objectif général la préparation d'un gâteau est composée de différentes actions, comme « battre les œufs avec un fouet », présentant un sous-but, « pour les monter en neige ». Au début de l'apprentissage procédural les règles de production qui vont être créées sont très courtes et visent la réalisation d'un but minimal. Lors de la compilation, ces règles de production vont être regroupées en règles plus vastes ayant un but plus général (Anderson, 1982). Les règles de production étant définies par le fait d'atteindre un but, il est nécessaire de faciliter les activités d'élaboration du but pour faciliter leur acquisition. Lorsque l'objectif des instructions est mis en avant, les instructions sont traitées plus efficacement et donnent plus souvent lieu à une exécution correcte (Dixon, 1987; Heurley, 2001b). Pour Dixon (1987), la construction d'un plan d'action ne commencerait que quand le but de celui-ci est connu. Commencer par présenter l'objectif permettrait de faciliter cette construction. Pour Heurley (2001b), l'élaboration d'un objectif pourrait déclencher l'activation d'un schéma correspondant en mémoire à long terme et celui-ci pourrait servir de support pour la construction d'un modèle mental intégré. L'ensemble de ces travaux suggère que faciliter l'identification et l'élaboration d'une représentation du but permet de faciliter le traitement des instructions et la construction de connaissances procédurales. Le fait de proposer un

document structuré peut faciliter cela. La présence d'un titre par exemple peut induire l'élaboration d'une représentation du but (Ganier, 2002).

L'attention portée à la structure du document permet également de faciliter la sélection des informations pertinentes et leur encodage. Un document facilitant la recherche d'informations peut présenter différentes caractéristiques. Il est possible d'aider l'utilisateur à localiser rapidement les données recherchées grâce à la présence d'indices comme la disposition spatiale des informations, la présence d'éléments qui signalent l'organisation du document (table des matières, sommaire) ou la présence d'indices visuels (Ganier, 2004; Wright, 1981). Par exemple, l'utilisation de titres saillants, clairs et précis peut faciliter la recherche d'information (Ganier, 2002). Un document procédural peut également être structuré pour faciliter la localisation des informations nécessaires en présentant les informations selon une organisation logique, chronologique ou modulaire. Pour faciliter l'apprentissage des utilisateurs novices, une structure suivant une progression « pas à pas » peut être utilisée. Il s'agit de présenter les instructions sous une forme linéaire pour permettre l'acquisition progressive (Ganier & Heurley, 2005). Selon le type de tâche visé par l'apprentissage, il peut également être utile de présenter les tâches des plus simples vers les plus complexes (Ganier, 2004). De plus, la phase déclarative de l'apprentissage procédural étant très coûteuse en ressources cognitives, il est nécessaire de faire attention à ce que les instructions n'imposent pas de forte charge extrinsèque (Beaunieux et al., 2006; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Par exemple, des instructions qui présentent une forme négative sont plus compliquées à traiter que les instructions qui présentent une forme affirmative. Les informations sont mieux retenues lorsqu'elles sont présentées sous une forme affirmative (Wright & Wilcox, 1979). Les principes ergonomiques de conception de documents multimédias sont généralement applicables aux documents procéduraux, si les spécificités de ceux-ci sont également prises en compte.

Lorsque l'utilisateur a sélectionné et encodé les informations, il doit intégrer les informations du document avec ses connaissances préalables. Il doit élaborer un modèle mental : une représentation situationnelle qui intègre l'information du document, l'équipement et les connaissances préalables en mémoire de travail (Ganier, 2004). Les processus d'interprétation permettraient de traduire ce modèle en représentation procédurale. Dixon (1987) nomme cette représentation un « plan mental ». Il comprend la représentation des

actions à réaliser et donc le plan d'action qui spécifie la séquence d'actions à réaliser dans un ordre particulier permettant d'atteindre le but. De la même façon que pour la sélection des informations, la structure du document peut faciliter la construction de ce plan mental. Présenter les informations chronologiquement permet une meilleure planification. Les éléments successifs doivent être mentionnés dans le bon ordre : « Faites X puis faites Y » et non « Faites Y après avoir fait X » (Clark & Clark, 1968; Ganier, 2004). Un document procédural présentant des images en complément du texte devrait permettre de faciliter la construction de ce modèle mental et la planification des actions. Cet effet serait à attribuer au fait que l'ajout d'images au texte permettrait une construction plus rapide des représentations et induirait un coût de traitement moins élevé que l'utilisation de texte seul (Ganier, 2002). L'information concernant le dispositif et les actions serait plus facilement communiquée à travers des images, mais le texte permettrait une élaboration plus précise des plans d'action, et donc du modèle mental (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). La combinaison de plusieurs modes de présentation permet également de profiter du double codage en mémoire de travail (Mayer, 2014; Paivio, 1990).

Une fois qu'un plan d'action est créé, l'apprenant peut passer de la lecture à l'exécution des actions. Le document procédural sera utilisé par cycles en alternance avec l'exécution des actions. L'apprenant peut également utiliser les instructions pour contrôler et réguler son activité. Selon Ganier (2004), cela peut se faire à deux niveaux différents : au niveau global et au niveau local. Au niveau global, le contrôle se repose sur la représentation du but, élaborée avec les instructions. Chaque étape et chaque résultat obtenu peuvent être comparés avec les résultats attendus. Au niveau local, le contrôle repose sur les instructions qui viennent d'être consultées. Chaque conséquence d'action peut être comparée avec les conséquences décrites dans les instructions. Toutes ces informations et processus sont maintenus en mémoire de travail jusqu'à la fin de la réalisation de la tâche (Ganier, 2004). Pour cela il est nécessaire que l'utilisateur bénéficie de critères pour comparer le résultat de ses actions (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Les instructions peuvent donc présenter le résultat attendu à la fin de la réalisation ou pour chaque étape de la procédure. L'ajout d'une structure permettant à l'apprenant de trouver directement la réponse à une question ou la solution à un problème en cas d'erreur peut également permettre de faciliter ce

contrôle (Ganier & Heurley, 2005). L'apprenant pourra alors corriger son action ou réparer son erreur.

Il est donc particulièrement important de concevoir les documents procéduraux pour faciliter la localisation des informations et la construction d'un modèle mental, ou plan mental. Cependant, le traitement des documents procéduraux suppose également une activité d'exécution des actions, qui est centrale à leur utilisation (Heurley, 1997). Ces documents doivent donc également être conçus pour favoriser cette activité.

### **3.3. Concevoir des documents procéduraux pour l'action et la répétition**

Lors de l'utilisation de documents procéduraux, les apprenants doivent réaliser les actions décrites dans le document. Pour cette activité, les individus doivent décider à quel moment ils doivent passer de la lecture des instructions à l'exécution des actions sur l'équipement et inversement (Boekelder & Steehouder, 1998a). Les instructions procédurales prennent rarement en compte la dynamique réelle de l'utilisation, alors qu'il est nécessaire de considérer cette dynamique pour faciliter leur lecture, leur compréhension, leur application et l'apprentissage de la procédure visée.

Dans la première phase de l'apprentissage procédural, les utilisateurs réalisent une atomisation de l'action et consultent donc les instructions en très courtes étapes entrecoupées de très courtes actions (Vermersch, 1985). Pour Boekelder et Steehouder (1998b), comme les utilisateurs ne lisent pas toutes les instructions avant de commencer à réaliser les actions prescrites, il est important qu'ils passent d'une activité à l'autre au moment le plus approprié. Ils considèrent qu'il est important que les utilisateurs puissent, en revenant aux instructions, retrouver l'endroit exact où ils s'étaient arrêtés. Puisque les apprenants atomisent leurs actions, ils doivent conserver en mémoire de travail les informations qui concernent l'action en cours. Il est nécessaire que les instructions prennent en compte ces processus. Les documents procéduraux doivent donc être conçus pour limiter la charge en mémoire de travail et permettre de réaliser l'atomisation de l'action facilement et sans risque de perdre le fil des étapes prévues (Boekelder & Steehouder, 1998b). Le rythme d'alternance entre la consultation des instructions et l'exécution des actions n'est pas similaire pour tous les individus, donc la quantité d'information optimale à consulter avant de passer à l'action diffère entre les apprenants. Duggan et Payne (2001) ont étudié l'effet du nombre d'étapes à consulter avant de pouvoir exécuter les actions. Dans une série

d'études, ils ont comparé deux présentations d'instructions sur la réalisation d'une tâche de programmation d'un lecteur VHS en simulation. Les instructions étaient présentées étape par étape, ou par groupe de plusieurs étapes. Dans les deux cas, les participants devaient lire l'étape ou le groupe d'étapes qui leur était présenté, puis ils pouvaient cliquer sur OK, les instructions disparaissaient et ils pouvaient réaliser les actions sur le simulateur. Les résultats ont montré que lors de la première réalisation, les participants ayant accès aux instructions par étapes réalisaient la procédure plus vite et avec moins d'erreurs. Lors de la phase de rappel de la procédure au contraire, les participants ayant accès aux instructions groupées avaient de meilleures performances. Duggan et Payne (2001) supposent qu'il serait plus bénéfique pour des participants expérimentés de devoir consulter les instructions par plus gros blocs avant de réaliser l'action, alors que les participants novices bénéficient d'une consultation plus fragmentée.

Les novices et les experts n'ont pas les mêmes besoins en termes d'instructions et de conception de celles-ci. Puisque l'apprentissage procédural nécessite de répéter la réalisation de la tâche, il est nécessaire de prendre en compte la progression de l'expertise lors de la conception de documents. Pour Anderson (1982) la première phase de l'apprentissage procédural repose sur les instructions. C'est donc au début de l'apprentissage procédural que les instructions sont le plus utilisées. Lors de la deuxième phase l'apprenant se détache progressivement de celles-ci. Les instructions procédurales ne seront alors que peu utilisées, sauf pour des activités de contrôle ou de régulation de l'activité. Pour faciliter cela, les instructions doivent permettre une lecture suivant la temporalité de la tâche lors de la phase déclarative, mais également permettre de retrouver facilement une information spécifique lors des phases suivantes. Pour faciliter l'apprentissage il est également possible de concevoir les instructions pour les adapter au niveau d'expertise de l'apprenant. Demander à des individus avec un niveau d'expertise ayant progressé au cours des répétitions de la procédure de continuer à réaliser des activités novices peut nuire à l'apprentissage. C'est l'*expertise reversal effect*, ou effet négatif de l'expertise (Yeung, Jin & Sweller, 1997). Il concernerait les documents proposant des sources d'aide supplémentaires, comme un guidage attentionnel, des explications supplémentaires ou l'augmentation progressive de la difficulté, qui sont bénéfiques pour les apprenants novices, mais sont redondants par rapport aux connaissances préalables des apprenants plus

expérimentés (Blayney, Kaluyga & Sweller, 2010). Cela pourrait imposer une charge cognitive supplémentaire et donc gêner la progression de l'apprentissage. Les sources d'aide dans le document peuvent donc être prévues pour se réduire au fur et à mesure de l'apprentissage. De la même façon, il faudrait éviter des conceptions pédagogiques qui obligent l'apprenant à consulter tout ou partie des instructions avant de réaliser la tâche. Un expert, ayant dépassé la phase déclarative, n'aura pas nécessairement besoin des informations présentées et leur traitement peut induire une charge cognitive inutile.

Lors de la conception de documents procéduraux, il est donc nécessaire de prendre en compte que la tâche principale est la réalisation. Les apprenants doivent pouvoir passer de la lecture des instructions à l'action facilement. De plus, puisque les apprenants progressent en répétant la procédure, les instructions ne sont pas utiles ni utilisées tout au long de l'apprentissage. Les documents procéduraux doivent donc être adaptés à cette progression de l'expertise pour éviter l'effet négatif de l'expertise (Yeung, Jin & Sweller, 1997).

#### **4. Conclusion**

L'apprentissage procédural se déroule, de façon différente de l'apprentissage déclaratif. Selon Anderson (1982), lors de l'apprentissage procédural, les apprenants passent par trois phases différentes pour transformer les informations qui leur sont données en règles de production. Lors de la phase déclarative, les apprenants interprètent les informations déclaratives pour réaliser la tâche. Cela nécessite un recours systématique aux instructions et impose une forte charge cognitive en mémoire de travail (Tenison & Anderson, 2015). Pour exécuter les actions décrites dans les instructions, les apprenants réalisent une atomisation de l'action. Ils alternent entre la consultation des instructions et l'exécution de la procédure suivant une succession de cycles courts (Heurley & Ganier, 2006). Selon Vermersch (1985), les apprenants se comporteraient de cette façon car le début de l'apprentissage procédural imposerait une forte charge en mémoire de travail, qui pourrait être due à la traduction des instructions en actions. Cette traduction correspond au processus d'interprétation décrit par Anderson (1982). Progressivement, grâce aux répétitions de la procédure les apprenants peuvent passer à une phase de compilation des connaissances, qui permet de créer des règles de production de plus en plus étendues et de se détacher des instructions (Tenison & Anderson, 2015). Le phénomène d'atomisation de l'action devrait également diminuer lors de cette phase. La dernière phase permet aux règles

de production d'être améliorées et automatisées. Lors de celle-ci les apprenants n'utilisent plus les instructions, c'est par la répétition qu'ils améliorent les règles de production (Anderson, 1982).

La conception de documents procéduraux et de situations d'apprentissage procédural devrait respecter la façon dont les apprenants réalisent l'apprentissage. Dans le cas de l'apprentissage procédural, les apprenants consultent les instructions pour apprendre à réaliser une tâche, ce que Redish (1989) nomme « *reading to learn to do* »<sup>6</sup>. Cela diffère de la réalisation unique d'une procédure ou de l'apprentissage déclaratif. Lors de la consultation de documents procéduraux l'apprenant doit former un but en mémoire de travail, sélectionner les informations utiles pour la tâche, traduire les informations des instructions en informations procédurales et encoder les informations des instructions et les caractéristiques du dispositif pour élaborer une représentation intégrée de l'ensemble (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Les processus d'interprétation permettent de traduire cette représentation en modèle procédural ou plan mental qui permet de réaliser l'action. Pour concevoir des documents procéduraux efficaces, il est donc nécessaire de favoriser la réalisation de ces activités (Boekelder & Steehouder, 1998b). Cela est possible en favorisant la localisation des informations utiles et en hiérarchisant le document pour permettre une organisation plus facile des informations (Ganier, 2004). Il est également nécessaire que les documents procéduraux permettent d'une part de respecter l'atomisation de l'action et d'autre part de réaliser la procédure lors de la consultation de ceux-ci (Heurley & Ganier, 2006). Enfin, les documents et situations pédagogiques doivent permettre aux apprenants de répéter la procédure jusqu'à l'apprentissage de celle-ci. En effet, la mise en situation et la répétition sont nécessaires pour l'acquisition d'une connaissance procédurale (Anderson, 1982). En médecine, pour permettre cette mise en situation et donc l'acquisition des connaissances procédurales, l'apprentissage par la simulation constitue une méthode de plus en plus utilisée.

---

<sup>6</sup> « lire pour apprendre à faire »



## CHAPITRE 4 – LA SIMULATION MEDICALE POUR L'APPRENTISSAGE

La simulation constitue une méthode pédagogique de plus en plus utilisée pour l'apprentissage procédural, notamment en médecine. Avant d'aborder les raisons de son utilisation et la façon de concevoir des simulations pour l'apprentissage de procédures, il est nécessaire de définir en quoi consiste la simulation de façon générale. Il est également indispensable de s'intéresser aux objectifs poursuivis par son utilisation, ainsi qu'à la notion de *fidélité* de la simulation.

Pour définir la simulation, il convient tout d'abord de préciser trois éléments : (1) la *situation de référence*, (2) le *simulateur* et (3) la *situation simulée*. La situation de référence (Samurçay & Rogalski, 1998) ou situation-cible (Béguin & Weill-Fassina, 1997) correspond à la situation réelle, qui sert de base à la simulation. Elle correspond à la situation qui est transposée dans la simulation, celle qui y est reproduite. Le simulateur correspond au matériel, qu'il s'agisse d'un objet technique ou non, sur lequel s'appuie la *situation simulée*. La situation simulée correspond à la transposition de la situation de référence. Elle comprend le simulateur et le scénario (Pastré, 2005). L'utilisation du terme *simulation* fera référence, dans le début de ce chapitre, au concept de situation simulée.

### 1. Qu'est-ce que la simulation ?

Une définition régulièrement utilisée est celle de Leplat (2005, p. 2) « La notion de simulation recouvre le plus souvent le cas où il est fait appel à un objet support, le simulateur, spécifié par un but lié très directement au travail ; mais il est d'autres catégories de simulation dans lesquelles le rôle de l'objet support n'est plus joué par un dispositif matériel mais par un être ou groupe humain ou par une situation symbolique ou virtuelle ». Cette définition de la simulation met l'accent sur le simulateur en tant qu'outil ou objet support. La définition de la simulation utilisée ici ne comprend pas les simulations utilisées pour modéliser et prévoir le comportement d'un processus comme en mathématiques, en sciences physiques ou en sciences économiques. La simulation correspondrait par conséquent au fait d'utiliser un simulateur (que celui-ci soit un simulateur matériel, virtuel ou humain) pour reproduire une situation professionnelle.

Cette section tente de définir plus précisément la notion de simulation. Elle commence par aborder les objectifs que peut poursuivre la simulation et en quoi ceux-ci sont centraux dans sa définition. Elle aborde ensuite le concept de fidélité de la simulation et ce qu'il implique pour sa définition.

### **1.1. Objectifs de la simulation**

La construction de la simulation, et par conséquent sa définition, est grandement dépendante de ses objectifs, car les paramètres et les variables choisis sont fonction de l'objectif de la simulation. Selon Béguin et Weill-Fassina (1997, p. 11) : « Les situations simulées visent, pour répondre à des buts variés de recherche, de formation ou de conception, à reproduire une situation-cible plus ou moins fidèlement en conservant ses caractéristiques essentielles. Le choix des invariants du dispositif dépend du but poursuivi, du modèle de la tâche et... des budgets disponibles. ».

L'usage de la simulation peut répondre à différents objectifs (Tableau 3). Béguin et Weill-Fassina (1997) en dénombrent trois. Tout d'abord l'observation, lorsque des individus sont placés dans une situation simulée. Cette finalité peut être liée à un but de recherche ou d'analyse de l'activité. Par exemple dans le cadre d'une intervention ergonomique en entreprise, les observations peuvent être réalisées en simulation pour ne pas immobiliser le matériel de l'entreprise, ce qui pourrait imposer des coûts importants. En situation de recherche, il s'agit de produire des connaissances sur les compétences, connaissances, comportements et processus cognitifs des participants en tant qu'opérateurs en situation ou dans un environnement dynamique (Rogalski, 1997).

Tableau 3.

*Différents objectifs de la simulation et exemples les illustrant.*

<b>Illustration des différents objectifs de la simulation</b>	
<b>• Objectif d’observation</b>	Étude sur simulateur de l’effet de l’utilisation d’un téléphone mobile sur la vitesse de réaction en conduite automobile.
<b>• Objectif de conception</b>	Test utilisateur pour valider l’utilisabilité d’un prototype de voiture en situation de simulation.
<b>• Objectif de formation</b>	Formation des stagiaires pilotes de ligne à l’atterrissage d’urgence en mer sur simulateur de vol haute-fidélité.
<b>• Objectif d’évaluation</b>	Évaluation des étudiants infirmier en situation simulée pour vérifier leur connaissance des procédures d’habillage stérile.

La simulation peut également être utilisée dans un but de conception. Il est ainsi possible de l’utiliser comme outil pour la conception d’une situation, d’un système, d’un objet, d’une situation de formation ou d’une organisation. Dans ce cas, la simulation est susceptible d’être utilisée comme mise en situation pour tester et valider l’objet, la situation, le dispositif, etc. Elle aide à juger de l’efficacité d’un prototype à différentes phases de l’élaboration, ou de l’efficacité de la version finale de ce que l’on souhaite concevoir. Cette évaluation est susceptible d’être réalisée soit en comparant les résultats observés dans différentes situations ou entre différentes versions du prototype, soit en comparant les résultats obtenus avec ceux attendus (Béguin & Weill-Fassina, 1997). La simulation est également susceptible d’être un élément majeur participant à la conception, et non un simple outil de validation. Par exemple la simulation peut être utilisée pour placer l’utilisateur au centre de la conception, comme l’ont fait Garmer, Liljegren, Osvalder et Dahlman (2002) pour la conception de l’interface d’une pompe à perfusion volumétrique utilisée par des infirmières.

Le dernier objectif pour lequel les situations simulées sont utilisées, selon Béguin et Weill-Fassina (1997) correspond à la formation. La situation simulée peut être un outil du formateur pour transmettre aux apprenants des connaissances, des habiletés, des méthodes

ou pour les entraîner à certaines tâches ou situations spécifiques. Les formateurs peuvent choisir d'utiliser la simulation car l'apprentissage en situation réelle est difficile ou impossible, pour des raisons de sécurité, des raisons économiques ou techniques. Le choix de former les apprenants par la simulation peut également découler du fait qu'elle présente des différences fondamentales avec la mise en situation réelle qui peuvent constituer des atouts pour la formation.

Rogalski (1997) ajoute à ces objectifs l'utilisation de la simulation pour l'évaluation. Cet objectif est fortement lié à l'objectif de formation. Les évaluations s'inscrivent en effet généralement dans un contexte formatif, même si elles ne sont pas considérées comme entrant directement dans la formation de l'apprenant. Par exemple, l'échec à une évaluation par simulation pour valider le niveau d'un pilote de ligne peut conditionner le retour sur le terrain à la poursuite d'une formation supplémentaire. Parfois la simulation pour l'évaluation n'est liée au contexte de formation que de façon très superficielle. C'est le cas de l'utilisation de la simulation pour l'évaluation des candidats à un poste ouvert au recrutement.

### **1.2. Fidélité(s) de la simulation**

Le simulateur a longtemps été considéré comme étant au centre de la situation simulée (Gallagher & O'Sullivan, 2012; Pastré, 2005). L'accent était mis sur l'objet simulateur et non sur le but de la simulation. Les simulateurs étaient conçus pour assurer les apprentissages pratiques quand il était impossible de les réaliser en situation réelle pour des raisons de sécurité, de coût ou des raisons pratiques (Pastré, 2005). Il semblait donc important que les simulateurs aient la plus forte ressemblance possible avec la situation de référence. C'est pourquoi la conception des situations simulées visait à créer un dispositif au plus près des situations-cibles sur toutes les dimensions de celles-ci. Le terme *fidélité* à la situation-cible est utilisé. La fidélité porte sur la conservation dans la simulation des éléments de la situation de référence (Béguin & Weill-Fassina, 1997). Plus le nombre d'éléments conservés est important, plus le niveau de fidélité est considéré élevé. Cependant, la notion de fidélité fait en réalité référence à plusieurs types de fidélité (Policard, 2018). Les éléments conservés ou modifiés peuvent renvoyer à différentes dimensions et concerner tous les composants de la situation de référence (Rogalski, 1997). Par conséquent, une bonne fidélité ne renvoie pas forcément à une reproduction exacte de la situation-cible. Les tâches simulées peuvent chercher à se rapprocher de la tâche de référence entière, à ne simuler qu'une partie de la

tâche, à isoler des éléments spécifiques ou encore à simplifier la tâche au maximum en la détachant du contexte physique (Leplat, 2005; Savoyant, 2005). Il existe par conséquent une grande variété de degrés de fidélité sur des dimensions très différentes. Les paragraphes suivants vont développer différents types de fidélité : (1) fidélité de l'environnement, (2) fidélité de la tâche, (3) fidélité temporelle, (4) fidélité psychologique et fidélité perceptive (Tableau 4).

Tableau 4.  
*Différents types de fidélités en simulation.*

<b>Les différents types de fidélités des situations simulées</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fidélité physique, fidélité de l'environnement ou fidélité environnementale</b></li> </ul>	Similarité physique entre la situation simulée et la situation de référence.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fidélité de la tâche, fidélité d'action ou fidélité fonctionnelle</b></li> </ul>	Similarité des tâches à réaliser dans la situation simulée et dans la situation de référence.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fidélité temporelle</b></li> </ul>	Similarité de déroulement temporel dans la situation simulée et dans la situation de référence.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fidélité psychologique</b></li> </ul>	Similarité des processus cognitifs mobilisés dans la situation simulée et dans la situation de référence.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fidélité perceptive</b></li> </ul>	Similarité perçue par l'apprenant entre la situation simulée et la situation de référence.

La *fidélité physique* (Grau, Doireau & Poisson, 1998), *fidélité de l'environnement* (Boucheix, 2015) ou *fidélité environnementale* (Policard, 2018) concerne la ressemblance physique entre la situation de référence et la situation simulée. Elle vise à produire un environnement le plus proche possible physiquement de la situation de référence avec, si possible, du matériel réel ou physiquement réaliste.

La *fidélité de la tâche* (Boucheix, 2015), *fidélité fonctionnelle* (Grau, Doireau & Poisson, 1998) ou *fidélité d'action* (Policard, 2018) concerne la similitude entre la tâche à réaliser dans la simulation et la tâche à réaliser en situation réelle. Pour définir ce type de fidélité, sont pris

en compte les objectifs de la tâche, les acteurs de la tâche et la tâche à réaliser elle-même. Une forte fidélité d'action requiert que la tâche simulée soit réalisée dans les mêmes modalités pratiques, avec les mêmes fonctionnalités interactives et de façon réaliste par rapport à la tâche en situation de référence (Nyssen, 2005; Policard, 2018).

La *fidélité temporelle* (Policard, 2018) concerne la similitude entre le déroulement temporel de la situation-cible et de la situation simulée. Pour atteindre une haute-fidélité temporelle, la temporalité de la simulation doit correspondre à celle de la réalité. Ce type de fidélité peut être compris dans une des catégories précédentes : la fidélité de la tâche si le déroulement temporel constitue une des modalités principales de l'activité ou la fidélité de l'environnement si la temporalité constitue une caractéristique secondaire de la tâche. Grau, Doireau et Poisson (1998) désignent les trois types de fidélités précédents sous le terme général de *fidélité technologique*, en l'opposant à la *fidélité psychologique*.

La *fidélité psychologique* concerne la similarité entre les processus cognitifs engendrés par la simulation et ceux engendrés par la situation de référence. Le niveau de fidélité psychologique est élevé si les activités et processus cognitifs mobilisés au cours de la situation de simulation sont identiques à ceux activés en situation de référence (Boucheix, 2015; Policard, 2018).

Il est possible d'ajouter aux catégories précédentes celle de *fidélité perceptive*, qui désigne le degré de réalisme perçu par l'apprenant vis-à-vis de la situation simulée. Cette catégorie de fidélité vise à ce que l'apprenant éprouve un sentiment de ressemblance entre la situation-cible et la situation simulée, ce qui devrait favoriser son immersion (Policard, 2018). La fidélité environnementale est censée favoriser la fidélité perceptive (Boucheix, 2015), mais la simulation n'est considérée comme réaliste par les apprenants que dans la mesure où ceux-ci peuvent la lier à leur expérience et à leur représentation de la situation réelle (Dubey, 1997).

Entre les différents types de fidélité, il est généralement nécessaire de faire un choix concernant ceux à maximiser, pour des raisons de coût, d'organisation, mais également parce qu'une fidélité portant sur l'ensemble des aspects n'est pas toujours nécessaire ni forcément souhaitable. La fidélité ne garantit ni la validité d'une situation simulée, ni la réussite de celle-ci (Boucheix, 2015). Aujourd'hui, des simulations présentant des niveaux de

fidélité variées sont utilisées et considérées comme utiles pour différents objectifs. Tant qu'elles conservent les caractéristiques pertinentes pour la situation simulée, leur niveau de fidélité importe peu. Dans le cas de l'usage de la simulation pour l'observation, il est par exemple nécessaire de conserver les caractéristiques de la situation de référence pertinentes au regard de ce que l'on souhaite observer. S'il s'agit d'étudier les comportements physiques lors d'une tâche sur une machine, alors la fidélité à la tâche semble à privilégier. S'il s'agit d'étudier les processus de prise de décision lors de la gestion d'un environnement dynamique, alors la fidélité psychologique sera de la plus haute importance.

Des simulateurs très différents en termes de fidélité sont donc utilisés. Les simulateurs matériels comprennent les *simulateurs haute-fidélité*, qui sont définis par une très grande fidélité physique avec la situation-cible, ainsi que les *simulateurs partiels* qui ne reproduisent qu'un élément de la situation choisie et peuvent être physiquement très différents de la situation-cible. En formation médicale par exemple, pour former à la chirurgie micro-invasive, sont utilisés des systèmes de miroirs qui représentent la vue indirecte dont disposent les chirurgiens lors de la réalisation de la procédure. Ce type de système très simple permet de simuler un élément très spécifique de la situation (la perception) pour former les apprenants à celui-ci. Dans cet exemple, les concepteurs de la simulation ont opté pour une forte fidélité psychologique, en se concentrant sur l'aspect perceptif des processus cognitifs engagés dans la situation de référence. Comme vu plus haut, les simulateurs objets ne sont pas le seul type de simulation utilisé. Certaines situations simulées, visant la reproduction d'une interaction sociale, peuvent nécessiter la présence d'*acteurs* qui représentent les personnes présentes dans la situation de référence. Enfin, certaines situations simulées utilisent des *systèmes virtuels* qui représentent la situation avec une interface minimale ou en réalité virtuelle. Le type de situation simulée ou de simulateur utilisé est par conséquent susceptible de varier grandement en termes de fidélité.

La situation simulée présente nécessairement des caractéristiques différentes de la situation de référence puisqu'elle n'est jamais exactement identique à celle-ci. Il est donc indispensable de faire des choix concernant les caractéristiques de la situation de référence qui doivent être conservées et celles qu'il est possible ou nécessaire de modifier ou supprimer. En effet, selon certains auteurs (Béguin & Weill-Fassin, 1997; Nyssen, 2005;

Pastré, 2005; Savoyant, 2005) l'objectif n'est pas d'augmenter au maximum la fidélité mais de sélectionner les éléments à privilégier en fonction des buts de la simulation. Il est donc nécessaire d'identifier les objectifs poursuivis par la simulation et de choisir les invariants indispensables pour atteindre ce but. La fidélité à atteindre dans la conception de la situation simulée se traduit par la conservation des caractéristiques pertinentes au regard du but recherché. Les éléments non pertinents peuvent être retirés ou modifiés dans le but d'atteindre l'objectif poursuivi. Dans la mesure où cette thèse concerne l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage, nous nous intéresserons plus précisément dans ce qui suit à l'usage de la simulation pour la formation et l'évaluation.

## **2. Objectif de formation : la simulation pour l'apprentissage**

Cette section commence par définir les concepts centraux dans la conceptualisation de la simulation pour l'apprentissage. Elle aborde ensuite les différentes étapes de la simulation pédagogique ainsi que la pluralité de situations dans lesquelles elle est susceptible d'être utilisée.

Lorsque l'utilisation de la simulation poursuit un objectif de formation, il est important d'insister sur les aspects d'enseignement et d'apprentissage dans sa définition. Leplat (2005) précise que la simulation dans un contexte d'apprentissage « est conçue comme un outil au service de la formation et elle participe au processus d'élaboration et à celui de mise en œuvre de cette dernière » (p. 5). Il paraît important, pour définir la simulation ayant pour objectif l'apprentissage de ne pas négliger cet objectif, car c'est celui-ci qui dirige la création, la construction et la conception de la simulation pédagogique. Dans leur définition de la simulation, Béguin et Weill-Fassina (1997) mettent en avant la formation et conçoivent la simulation comme un outil du formateur, une méthode d'enseignement de savoir-faire, d'habiletés et de connaissances. Au centre de cette définition se trouve l'idée que, lorsqu'on poursuit un objectif pédagogique, c'est la simulation elle-même et non le simulateur, qui constitue l'outil principal de formation. En effet, la simulation n'a pas de valeur pédagogique propre mais c'est bien sa conception par un enseignant, incorporée dans une réflexion pédagogique et dans un contexte de formation global qui crée cette valeur (Rogalski, 1997; Thompson, Carroll & Deaton, 2009). Par conséquent, certains auteurs comme De Keyser et Samurçay (1998) ou Samurçay et Rogalski (1998) introduisent le terme de *situation de simulation*. La situation de simulation inclut dans sa définition, en plus de la situation

simulée, la visée didactique de la simulation. Ce terme met l'accent sur l'activité du formateur et la conception à visée pédagogique de la simulation (Pastré, 2005). Une situation de simulation est construite et dirigée « pour produire un certain effet d'élaboration de compétences, grâce à des situations didactiques conçues préalablement à la formation, mais également, en cours de formation, par le jeu pédagogique de l'instructeur qui peut, suivant les réactions du sujet, modifier certains paramètres de la situation d'apprentissage. » (De Keyser & Samurçay, 1998, p. 308). Le concept de situation de simulation permet de situer l'apprentissage et l'enseignement au centre de la simulation. Ce concept met également l'accent sur la conception des situations de simulation afin qu'elles puissent favoriser les apprentissages de la façon la plus efficace possible. Dans la suite de ce chapitre, c'est de ce concept dont il s'agira lorsque le terme *simulation* sera utilisé.

### **2.1. La situation de simulation : une mise en situation couvrant plusieurs étapes**

La définition des situations de simulation comprend leur conception dans un but pédagogique, ainsi que les activités du formateur. Elle prend en compte le contexte pédagogique global dans lequel s'inscrit la situation simulée, car celle-ci n'est jamais l'unique moyen de formation utilisé pour l'apprentissage (Savoyant, 2005). Cette définition ne peut donc pas être uniquement centrée sur la période effective de la séance, de la situation simulée. En effet, si la mise en pratique de la tâche proposée durant la situation simulée, médiatisée par un simulateur physique ou non, est nécessaire pour l'apprentissage d'une activité, cette mise en pratique n'est pas le seul outil de formation utilisé dans une situation de simulation. La globalité de la situation de simulation avec phase préparatoire, séance et analyse de la séance doit être prise en compte dans sa définition (Boucheix, 2015). Cette sous-section traite de ces différentes étapes dans la conduite d'une situation de simulation.

On distingue généralement trois étapes dans le déroulement d'une situation de simulation (Boucheix, 2015; Granry & Moll, 2012; Samurçay, 2005) : (1) avant ou *briefing*, (2) pendant ou situation simulée et (3) après ou *débriefing* (Figure 6). Le *briefing*, correspond à la préparation de la séance avec les participants. Cette phase préparatoire permet de définir les enjeux et les objectifs pédagogiques de la simulation. En d'autres termes, elle permet la négociation du contrat pédagogique et la clarification des attentes des enseignants et des participants vis-à-vis de la simulation (Benhamou, 2019; Vidal-Gomel, Fauquet-Alekhine & Guibert, 2011). Le *briefing* permet de régler des questions techniques, comme le

fonctionnement du simulateur ou le déroulement du scénario proposé aux apprenants. Il permet également de répondre aux questions des apprenants. Lors de cette phase l'enseignant doit établir les limites à respecter lors de la simulation, insister sur la bienveillance des enseignants et la bienveillance entre les participants, préciser la confidentialité ou non des données recueillies et établir un rapport de confiance avec les participants (Fauquet-Alekhine & Maridonneau, 2012; Policard, 2018). À l'issue de cette phase préparatoire, les participants doivent avoir construit les connaissances nécessaires à la compréhension et au traitement de la situation simulée.

L'étape de situation simulée correspond au déroulement de l'activité avec le simulateur, qu'il soit matériel, virtuel ou humain. Durant cette étape les apprenants doivent construire des connaissances ou des compétences en lien avec les objectifs de la simulation sous la supervision des enseignants (Boucheix, 2015 ; Samurçay, 2005). Pour favoriser cet apprentissage, les enseignants doivent gérer la situation simulée en temps réel. Ainsi, ils peuvent ajuster la situation simulée, donner des retours sur l'activité des apprenants, arrêter ou ralentir la situation, en fonction du comportement des apprenants. Ici le but est d'ajuster la situation simulée pour qu'elle corresponde à l'expertise et à la courbe d'apprentissage des apprenants (Vidal-Gomel, Fauquet-Alekhine & Guibert, 2011). Les enseignants peuvent également ne pas intervenir ou minimiser leurs interventions. En effet, de nombreux simulateurs sont construits pour permettre une formation autonome des apprenants et ne prévoient pas l'intervention du formateur (Soler & Marescaux, 2011). Certains scénarios sont également prévus pour permettre aux apprenants d'être autonomes dans leur apprentissage. La situation simulée se déroule jusqu'à son terme ou jusqu'à ce que le formateur décide de l'arrêter (Boucheix, 2015).

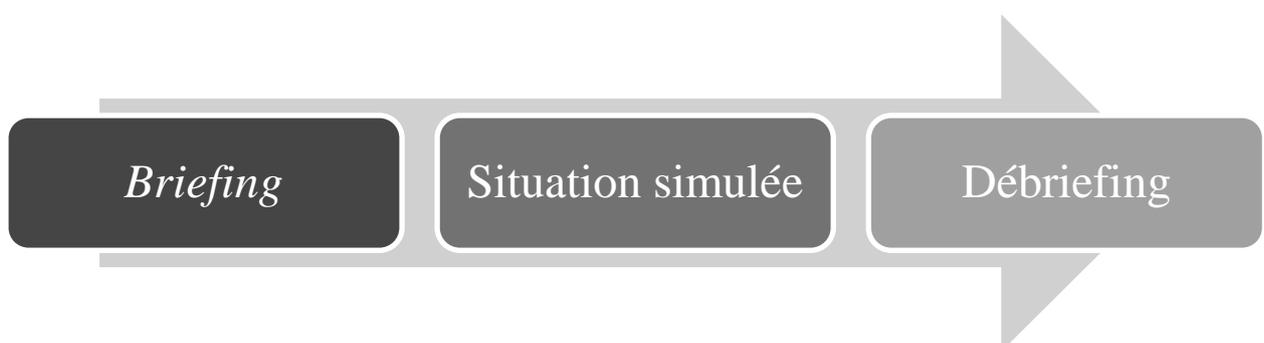


Figure 6. Étapes de la situation de simulation

Lors du *débriefing*, une analyse de la séance est réalisée, permettant une réflexion des apprenants sur leur activité (Samurçay, 2005). Les participants sont confrontés à leur propre activité. Cette confrontation peut se faire grâce aux commentaires des participants, des observateurs ou sur la base du visionnage d'images filmées lors de la séance. Le formateur peut également commenter les résultats de la situation simulée à partir de ses notes ou des données recueillies. L'objectif est de distancier les participants de leurs actions pour leur permettre d'avoir un regard critique et une activité d'analyse sur celles-ci (Fauquet-Alekhine & Maridonneau, 2012). Lors de cette phase, le rôle du formateur est fondamental. Celui-ci permet de faciliter l'expression des participants. Il les amène à développer leurs réponses, reformuler leurs idées et les synthétiser pour construire une image globale de la situation simulée selon le point de vue de chaque participant (Fauquet-Alekhine & Maridonneau, 2012). Le débriefing peut servir à expliciter les choix des apprenants en situation de résolution de problèmes, à corriger un geste ou à aider à comprendre un concept dans le cas d'une simulation pour l'apprentissage de connaissance. Cette analyse est fondamentale pour l'apprentissage, surtout dans le cas d'apprentissage de procédures complexes et de résolution de problèmes. Selon Pastré (2005, p. 9) « On apprend beaucoup par l'action, mais on apprend tout autant et même davantage par l'analyse de son action. Et il faudrait ajouter qu'on n'y apprend pas les mêmes choses. ». La phase de débriefing permet également la gestion des tensions possibles, dues par exemple aux problèmes de communication au sein d'un groupe ou l'impact émotionnel de la situation (Geeraerts & Trabold, 2011). En fonction du type d'apprentissage visé par la situation de simulation, le débriefing est susceptible de remplir des objectifs très divers et peut utiliser différentes techniques (Boucheix, 2015).

La construction de ces trois étapes est souvent documentée dans le cas de simulations pleine-échelle ou dans des simulations collectives (Oriot & Alinier, 2019). Il s'agit en effet de cas dans lesquels il est important d'insister lors du *briefing* sur les techniques d'utilisation du simulateur, la confidentialité des données recueillies, ainsi que d'instaurer un état de confiance et de bienveillance avec les enseignants et entre les participants. Il s'agit également de cas pour lesquels le débriefing est indispensable. Il peut être le plus difficile à réaliser car la simulation pleine-échelle implique des activités complexes, et des interactions humaines, dès lors, des tensions peuvent émerger. Ces trois étapes sont importantes à

mettre en place, même de façon minimale, pour tout type de simulation, ceci quel que soit le niveau d'expertise des apprenants, le type d'apprentissage visé, le moyen utilisé lors de la situation simulée et le domaine d'application.

## 2.2. L'utilisation de la simulation pour l'apprentissage : une taxonomie

La simulation pour l'apprentissage est utilisée à des niveaux d'expertise très différents, en vue de faire acquérir des connaissances ou compétences variées, aussi bien techniques que non-techniques et peut s'appuyer sur différents outils et méthodes. La formation par la simulation est utilisée dans de très nombreux domaines comme la défense, le nucléaire, l'aéronautique ou l'industrie. Pour analyser ou construire une situation de simulation, il est nécessaire de définir l'objectif pédagogique. Dans ce but, différents critères peuvent être utilisés : le niveau d'expertise auquel elle est destinée, le type d'apprentissage qu'elle vise, le domaine dans lequel elle est utilisée et le moyen utilisé pour réaliser la simulation (Figure 7).

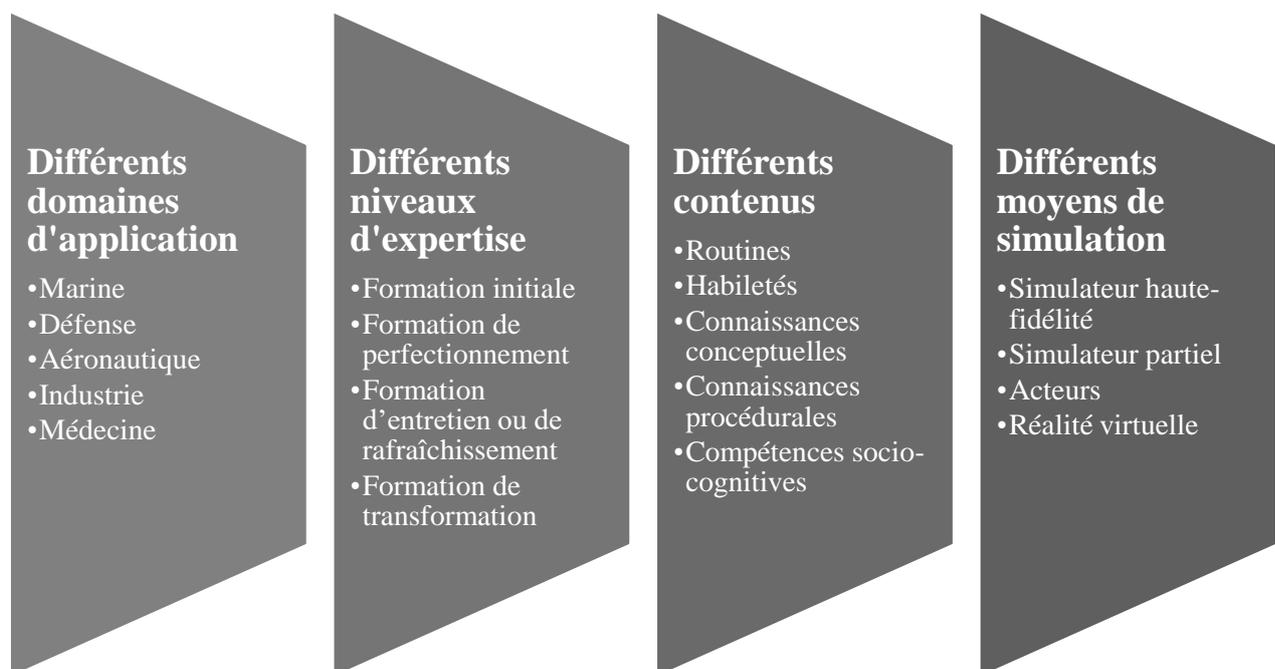


Figure 7. Différences dans les simulations pour l'apprentissage

Une des caractéristiques majeures des simulations pour l'apprentissage est le niveau d'expertise auquel elles sont utilisées. Connaître le niveau d'expertise est nécessaire pour comprendre quelles sont les connaissances préalables des apprenants et ce qui peut leur être demandé. Les apprenants peuvent aussi bien être des novices en formation initiale cherchant à acquérir des connaissances minimales, que des experts en formation continue. En formation continue Grau, Doireau et Poisson (1998) distinguent trois types de formation :

(1) la formation de perfectionnement, (2) la formation d'entretien ou de rafraîchissement et (3) la formation de transformation. La formation de perfectionnement concerne le développement des connaissances des professionnels déjà qualifiés pour les approfondir. La formation d'entretien concerne le maintien des acquis ou les remises à niveau régulières comme dans le domaine de l'aviation (Labrucherie, 2011). La formation de transformation peut avoir pour but d'entraîner les professionnels qualifiés à utiliser leurs compétences dans de nouveaux contextes, comme des situations complexes ou rares. Il peut également s'agir de les former à un nouveau matériel, une nouvelle procédure (Thompson, Carroll & Deaton, 2009). Si comme avancé plus haut, l'évaluation par la simulation est liée à l'usage de la simulation pour la formation, il est possible également de considérer que l'évaluation est susceptible d'être utilisée à différents niveaux d'expertise. En effet, une situation de simulation peut être utilisée aussi bien pour évaluer les difficultés d'un apprenant novice et ainsi orienter les apprentissages futurs, que pour confirmer le niveau d'un expert lui permettant d'aller ou de retourner en situation réelle.

La simulation peut également être utilisée pour l'acquisition de différents types de contenus d'apprentissages. Des objectifs pédagogiques qui visent l'acquisition de contenus différents nécessitent des moyens d'apprentissage différents. Pour analyser une situation de simulation existante ou en concevoir une, il est nécessaire de connaître le type d'apprentissage qui est visé par celle-ci. Pour les classer, Pastré (2005) distingue les simulations visant (1) *l'apprentissage d'habiletés*, (2) *l'apprentissage de règles et procédures complexes* ou (3) *l'apprentissage de connaissances*. Il est également possible d'ajouter la formation à certaines *routines et automatismes* comme la surveillance, l'attention et la perception, par exemple dans le cas de la formation à la surveillance de réacteurs nucléaires (Fauquet-Alekhine & Maridonneau, 2011). Les *apprentissages d'habiletés* peuvent concerner l'apprentissage de gestes techniques précis et/ou spécifiques comme la formation à la réalisation de points de suture (Ganier & de Vries, 2016). L'utilisation de la simulation pour l'apprentissage ne se limite pourtant pas à l'acquisition de ces règles d'action, routines et automatismes. La *formation aux règles et procédures complexes* peut concerner par exemple la formation des pilotes de ligne, des sous-marinières (Labrucherie, 2011; Seamon, 2009) ou des ouvriers spécialisés (Guibert, 2005). Concernant les *apprentissages de connaissances*, la simulation peut également avoir pour objectif l'acquisition de

connaissances, la compréhension d'un concept ou celle du fonctionnement d'un système (Boucheix, 2005). Elle peut également viser la formation aux stratégies de gestion, comme la gestion d'équipe ou de matériel, par exemple dans la formation militaire ou viticole (Schmorrow et al., 2009 ; Caens-Martin, 2005). La formation à la résolution de problèmes et prise de décision peut également être comprise dans ce type d'apprentissage ou être considérée comme relevant de l'apprentissage de règles et procédures complexes (Fauquet-Alekhine & Maridonneau, 2011). Certains auteurs (Tun & Kneebone, 2011; Wiggins, 1993) émettent des doutes sur l'utilisation des simulations qui formeraient uniquement à la maîtrise de compétences techniques. Wiggins (1993) explique que la pratique comporte de nombreux éléments autres que la maîtrise d'un geste moteur. Ces critiques sont inappropriées puisque la simulation peut également être utilisée pour la construction de compétences sociales ou émotionnelles. En effet, deux dimensions complémentaires peuvent être ajoutées à cette classification : la *dimension collective* (Pastré, 2005) et la *dimension émotionnelle*. Concernant la *dimension collective*, d'importantes compétences de management et de communication avec les supérieurs, les subordonnées, les collègues ou le public, peuvent être développés avec l'usage de la simulation (Dupuis, Gueibe & Hesbeen, 2018; Angel & Angel, 2016). La simulation pédagogique peut également aider à préparer à certaines émotions et certains états mentaux ou physiques. Ce qu'il est possible de désigner sous le terme de *dimension émotionnelle*. Cela peut être le cas dans la formation à la gestion du stress en situation à risque ou à la gestion du mal de l'espace (Mouloua, Smither & Kennedy, 2009). Enfin, dans une simulation complexe, ces différents types d'apprentissages peuvent être combinés pour former une situation proche de la situation-cible. En effet, un pilote de ligne en situation de vol devra par exemple : connaître les procédures de pilotage et de sécurité, savoir prendre des décisions concernant la route de vol en cas d'intempéries, communiquer de façon efficace avec son copilote et les passagers et savoir gérer une situation potentiellement dangereuse en maîtrisant son stress.

Enfin, l'analyse d'une situation de simulation nécessite de connaître le moyen de simulation utilisé pour celle-ci. Pour la conception, celui-ci sera choisi pour correspondre aux différentes caractéristiques de l'objectif pédagogique. Tous les moyens de simulation ne sont pas adaptés à tous les apprentissages, ni à tous les niveaux d'expertise. L'utilisation d'un simulateur physique partiel sera, par exemple peu adaptée à l'apprentissage de

compétences de communication, à contrario, une mise en situation multi professionnelle dans un bloc opératoire est inutile pour une formation visant l'apprentissage de points de suture. Pour analyser ou concevoir une situation de simulation il est nécessaire de comprendre si le moyen de simulation choisi est adapté aux objectifs pédagogiques. Il faut donc distinguer les situations de simulation qui utilisent un objet technique selon différents niveaux de fidélité (Pastré, 2005) : des simulateurs haute-fidélité aux simulateurs partiels. Il est également nécessaire de prendre en compte les situations de simulation qui n'utilisent pas d'objet technique mais utilisent des simulations informatiques comme des programmes de gestion d'environnement dynamiques ou de réalité virtuelle, ainsi que les simulations qui utilisent des acteurs pour mettre en scène une situation.

Ainsi, pour analyser ou concevoir une situation de simulation, la classification de ses différentes caractéristiques telles que le niveau d'expertise des apprenants, le type d'apprentissage visé, le moyen de simulation utilisé, mais également le domaine d'application est nécessaire. Ces caractéristiques sont liées entre elles, car il est nécessaire que les moyens mis en œuvre correspondent aux types d'apprentissages visés, qui doivent correspondre au niveau des apprenants. Le type d'apprentissage voulu est défini par le domaine d'application. Ce premier choix de contenu (compétence technique, résolution de problèmes, communication...), ainsi que la définition du public ciblé (novices ou experts) permettent de définir également les éléments de la tâche réelle qui seront conservés, le type de simulateur nécessaire, ainsi que la fidélité de celui-ci. Parmi les nombreux domaines dans lesquels l'utilisation de la simulation pour la formation et l'évaluation progresse, un domaine particulier utilise de plus en plus la simulation pour l'apprentissage : le domaine médical.

### **3. Spécificités de la simulation médicale**

Bien que la formation médicale concernant les connaissances procédurales ou les compétences sociales et émotionnelles soit traditionnellement réalisée sur le terrain, depuis plusieurs années l'utilisation de la simulation se développe (Granry & Moll, 2012). L'utilisation de la simulation pour l'éducation médicale est connue depuis longtemps pour sa capacité à développer les compétences, la possibilité de pouvoir s'entraîner pour devenir expert et la possibilité d'exercer des compétences peu utilisées tout en évitant les risques pour le patient, mais ce n'est que récemment qu'elle a réellement connu un essor important (Granry & Moll, 2012; Owen, 2012). Cette section commence par aborder les situations dans

lesquelles l'apprentissage par simulation est utilisé en médecine et son historique. Elle traite ensuite de l'impératif éthique qui explique son utilisation massive. Enfin, les différents avantages et inconvénients de l'usage de la simulation pour l'apprentissage médical sont développés.

### **3.1. La simulation médicale pour l'apprentissage : une taxonomie**

Dans le domaine de la santé Granry et Moll (2012, p. 7) définissent la simulation comme : « l'utilisation d'un matériel (comme un mannequin ou un simulateur procédural), de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décisions par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels. ». Cette définition peut être élargie en y ajoutant le concept de situation de simulation. En effet, ce concept permet de situer l'apprentissage et l'enseignement au centre de la simulation. Il élargit la définition de la simulation en tenant compte de la visée pédagogique de sa conception, et en y incluant *briefing* et *débriefing*. D'autres types d'apprentissages peuvent être inclus dans cette définition, comme l'apprentissage des compétences non-techniques de gestion des émotions et de communication. La simulation médicale pour l'apprentissage couvre des situations variées. Pour caractériser ces situations, la taxonomie présentée lors de la section précédente sera utilisée.

De nombreux moyens de simulation sont aujourd'hui disponibles. Parmi ceux-ci, les simulateurs matériels sont ceux ayant été utilisés depuis le plus longtemps et sont la forme la plus ancienne de simulateurs connue. En effet, l'utilisation de simulateurs pour l'éducation médicale remonte à plusieurs centaines d'années (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Dès 1027, on note l'utilisation de statues de bronze et de cire en Chine pour enseigner l'anatomie et l'acupuncture (Owen, 2012). Aux XVII<sup>ème</sup> et XVIII<sup>ème</sup> siècle en Europe on retrouve de nombreux simulateurs pour l'éducation médicale. Ces simulateurs vont des plus simples, comme la *Venerina Medical* en Italie qui représentait une femme allongée dont le corps était ouvert et disposait d'organes mobiles pour l'éducation à l'anatomie, aux plus complexes comme les simulateurs obstétriques (Owen, 2012). L'un des plus célèbres est sans doute celui conçu par Madame du Coudray, en 1758, qui avait réalisé une machine qui représentait le bas du torse, les parties génitales et le haut des cuisses d'une femme (Angel

& Angel, 2016; Granry & Moll, 2012). Les organes étaient mobiles et le mannequin était fourni avec différents fœtus dont des jumeaux. Des éponges servaient à libérer des fluides corporels aux moments appropriés. En France en 1770, Marie-Catherine Biheron conçut un simulateur de femme enceinte avec un col de l'utérus qui pouvait se dilater ou se contracter pour enseigner aux étudiants comment gérer des accouchements problématiques. Ces simulateurs obstétriques ont été améliorés durant de nombreuses années et de nombreux médecins formateurs ont travaillé à les rendre les plus fidèles possible en changeant les matières, en ajoutant des organes ou des fonctionnalités (Owen, 2012). Cependant l'obstétrique n'était pas le seul domaine dans lequel des simulateurs réalistes étaient utilisés. Par exemple, en 1876 Harman décrit comment réaliser un simulateur de chirurgie oculaire pour un faible coût.

De nos jours, en ce qui concerne le moyen de simulation utilisé, une situation de simulation médicale peut utiliser différents types de simulateurs : des simulateurs matériels à haute ou basse fidélité, à l'utilisation de la réalité virtuelle, en passant par les situations simulées grâce à des acteurs. Les simulateurs matériels à haute-fidélité peuvent être des simulateurs de patients échelle 1 (mannequins grandeur nature très réalistes pouvant, selon les modèles, reproduire la respiration ou réagir à des stimuli), alors que les simulateurs à faible fidélité peuvent être des simulateurs de prise de sang qui reproduisent uniquement la peau et quelques veines ou des peaux synthétiques (Renaut et al., 2018). L'entraînement sur des cadavres humains ou animaux peut également être vu comme une forme de simulation (Gallagher & O'Sullivan, 2012). La définition de la simulation médicale inclut également l'utilisation de situations simulées grâce à des jeux de rôles. Il s'agit le plus souvent de *patients standardisés* qui sont des personnes saines sélectionnées et entraînées à simuler un scénario. Ces personnes peuvent être des étudiants qui alternent entre la place de patient et la place de praticien lors des simulations, ou encore des formateurs ou des acteurs recrutés spécialement pour la simulation. Entrent également dans cette définition élargie, les simulateurs qui utilisent la réalité virtuelle, qui permet à un humain de s'immerger dans un monde artificiel et d'interagir avec celui-ci (Grumbach & Klinger, 2007). Il s'agit généralement d'environnements virtuels reproduisant un environnement médicalisé telle une chambre de réanimation. Certains environnements virtuels pédagogiques comprenant des *patients virtuels* peuvent être considérés comme des patients standardisés (Huwendiek

et al., 2009). Il existe par conséquent de nombreux usages de la simulation en médecine et de nombreux moyens de simulation ayant chacun ses spécificités et ses intérêts pédagogiques (Dupuis, 2018).

La simulation médicale pour l'apprentissage reprend les principes généraux de la simulation, vus précédemment dans le chapitre. Elle peut intervenir à différents niveaux d'expertise, permettre de développer différents types d'apprentissages et utiliser différents moyens de simulation. Elle permet la formation initiale et continue des médecins, et des professionnels de la santé (infirmiers, sages-femmes, pompiers, ambulancier...). Elle couvre des situations variées, intervient à différents niveaux d'expertise, dans les différents types de formation possibles : formation de perfectionnement, formation d'entretien ou de rafraîchissement et formation de transformation.

En appliquant le classement de Pastré (2005) à la simulation médicale, on constate que celle-ci est susceptible d'être utilisée aussi bien pour la formation aux connaissances procédurales (habiletés, règles et procédures complexes), pour l'acquisition de connaissances conceptuelles et pour les dimensions collective et émotionnelle. Les exemples de recours à la simulation ou à la situation de simulation sont multiples et nombreux. Parmi les apprentissages d'habiletés on retrouve la formation aux gestes techniques tels la réalisation de points de suture, de plâtres, ou l'insertion de cathéter veineux central (Barsuk, McGaghie, Cohen & Balachandran, 2009; Ganier & de Vries, 2016). La simulation peut servir pour la formation aux règles et procédures complexes, tels l'habillage chirurgical stérile ou la réanimation cardiaque (Bonnetain, Boucheix, Hamet & Freysz, 2010). Elle peut également concerner les apprentissages de connaissances comme le fonctionnement d'un système technique médical ou celui du corps humain. Elle peut encore former à la résolution de problèmes tels le diagnostic clinique. En médecine, les situations de simulation sont également utilisées dans la dimension collective, pour former au travail en équipe et à la communication avec entre pairs, par exemple dans des simulations de bloc opératoire. La formation peut concerner la communication avec les patients, dans le cas de l'annonce d'une maladie ou d'un décès par exemple (Dupuis, Gueibe & Hesbeen, 2018; Angel & Angel, 2016). Enfin, la dimension émotionnelle peut également être abordée. Certaines simulations sont utilisées pour permettre aux apprenants de se préparer aux situations de stress en bloc opératoire ou de s'entraîner à la gestion des émotions en cas d'annonce de mauvaises

nouvelles (Renouard, 2016; Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne : Département d'enseignement et de recherche de psychologie médicale, 2015). L'apprentissage de la gestion de distractions pour éviter la baisse des performances et l'irritation pourrait également entrer dans cette catégorie (Pluyter, Buzink, Rutkowski & Jakimowicz, 2010).

Un champ semble être peu accessible à l'apprentissage par la simulation : le rapport au corps. En effet, dans la pratique médicale le corps du patient est un élément très présent et peut mettre mal à l'aise les soignants débutants lors de leurs premières rencontres avec des patients. Même dans le cas d'apprentissage sur simulateurs haute-fidélité, qui comprennent par exemple des fluides odorants, la confrontation au corps réel peut déclencher chez le praticien débutant de l'embarras ou du dégoût (Gatecel & Valentin Lefranc, 2018; Juliens & Danero, 2018). De la même façon, le sentiment de gêne pouvant être ressenti par un soignant débutant lors de la confrontation avec la nudité d'un patient est difficilement reproductible en simulation. L'apprentissage par simulation permet cependant de traiter de très nombreuses dimensions d'apprentissage. Les différents types d'apprentissages médicaux peuvent se combiner dans une seule situation. Une simulation pleine-échelle pourra par exemple attendre de l'apprenant qu'il réalise un geste médical technique, après avoir posé un diagnostic sur la situation du patient, tout en communiquant avec ses collègues présents dans la pièce. Ces différents types d'apprentissage ne sont pas toujours appuyés par des moyens de simulation similaires en fonction de l'objectif de formation.

### **3.2. La simulation médicale pour l'apprentissage : un impératif éthique**

La réalisation de gestes techniques, de procédures et d'interventions sur des patients réels peut représenter un danger pour ceux-ci si le praticien ne maîtrise pas bien ces gestes. Les professionnels de santé ont pour obligation de proposer un traitement optimal et d'assurer la sécurité et le bien-être du patient. *Primum non nocere* est une locution latine qui signifie : d'abord, ne pas faire de mal. C'est le principal dogme abstentionniste du serment d'Hippocrate enseigné aux étudiants en médecine et en pharmacie (Ziv, Wolpe, Small & Glick, 2006).

Dans le cas de la chirurgie, même si les méthodes d'éducation médicale par la simulation existent depuis longtemps, les compétences chirurgicales sont généralement apprises sur le terrain, sous la forme d'un *compagnonnage* : apprentissage via un mentor. Cette façon de faire implique que les apprenants exercent en salle d'opération ou aux urgences, sous le

contrôle d'un sénior, alors qu'ils ne maîtrisent pas complètement les compétences requises, ce qui peut nuire à la sécurité des patients (Spruit, Guido, Haming & Ridderinkhof, 2014). Par ailleurs, l'impératif éthique ne comprend pas seulement la sécurité de la personne mais également le respect de son consentement « en ce qu'elle peut s'attendre à des personnels formés au plus proche de ses besoins » (Renaut et al., 2018, p. 78). Ce questionnement éthique a pris de l'ampleur récemment, suite à de nombreux scandales internationaux, après que des patients endormis ou mourants aient été utilisés, sans leur consentement, comme outils d'entraînement pour praticiens (Angel & Angel, 2016; Ziv, Wolpe, Small & Glick, 2006). Pour Aggarwal et al., (2009) l'entraînement sur un patient réel, même contrôlé et réalisé avec le consentement éclairé de celui-ci n'est pas éthiquement viable. De plus, même si la réalisation de stages est considérée comme un standard d'éducation pour le personnel médical, ce standard présente de nombreuses limites. L'apprentissage est orienté par les besoins du patient et de nombreuses demandes sont trop complexes pour les compétences limitées des apprenants novices (Meyer, Connors, Hou & Gajewski, 2011). Par conséquent, les apprenants novices soit n'ont pas l'occasion de pratiquer lors des stages car ils n'ont pas les compétences nécessaires, soit sont autorisés à pratiquer en risquant de nuire au patient. Cela est regrettable car une performance sécurisée dans des domaines à enjeu important comme la chirurgie requiert un entraînement extensif et de bonne qualité (Spruit, Guido, Haming & Ridderinkhof, 2014).

La simulation pour l'apprentissage médical constitue donc une alternative intéressante à la pratique sur patient réel car elle ne pose pas de risques pour le patient (Angel & Angel, 2016; Granry & Moll, 2012). Pour Granry et Moll (2012) la simulation s'impose donc pour l'exigence de la sécurisation des soins et le refus des patients de faire les frais de l'enseignement, promus par cette phrase de leur rapport : « Jamais la première fois sur le patient ». Il est cependant important de noter, que même s'il est admis qu'il ne faut pas réaliser un geste pour la première fois sur un patient, il restera toujours une première fois sur un patient. Pour cette première pratique sur le terrain, et pour respecter l'éthique médicale, il est nécessaire que l'apprenant aie une assez bonne maîtrise de la compétence pratiquée. Cet apprentissage peut se dérouler en simulation, préalablement à la pratique réelle. L'apprentissage par simulation permet donc d'abord la résolution du problème éthique posé par la pratique sur patient réel. Elle permet également que l'apprenant soit

plus compétent avant sa première rencontre avec le patient. C'est dans cette perspective que de nombreuses écoles et universités ont commencé à introduire la simulation éducative pour améliorer la qualité de l'apprentissage et pour compléter ou remplacer certains moments de stage (Meyer, Connors, Hou & Gajewski, 2011).

### **3.3. Avantages et inconvénients de la simulation médicale**

L'utilisation de la simulation pour l'apprentissage médical offre de nombreux avantages. Son usage permet d'éviter des situations problématiques d'un point de vue éthique. Le remplacement de la situation réelle par une situation simulée rend possible la réduction des dangers de l'entraînement sur certaines situations. Il est possible de se tromper et de réessayer ensuite sans que l'erreur de l'apprenant n'ait de conséquences réelles ni ne crée un danger pour les apprenants ou les patients (Boucheix, 2015). Il est également possible de corriger des erreurs qui seraient définitives en situation réelle (Caens-Martin, 2005). C'est pour ces différentes raisons que, selon Béguin et Weill-Fassina (1997 p. 8) la simulation est souvent utilisée « dans des tâches pour lesquelles un enseignement direct s'avère impossible pour des raisons déontologiques (sécurité et sûreté), économique (coût du matériel ou de l'erreur) ou technique (faible probabilité d'occurrence des incidents). ». En médecine, la sécurité et l'intégrité des patients sont primordiales, mais cet impératif éthique ne constitue pas le seul avantage de l'utilisation de la simulation. La simulation rend possible, en se dégageant des contraintes de la situation de référence, de réduire les coûts de l'entraînement et de préparer les apprenants à des situations particulières. Certains avantages de la simulation concernent plus spécifiquement l'apprentissage en lui-même : la possibilité de se dégager de la chronologie normale de la tâche ; la visualisation de données inaccessibles en situation réelle ; l'évaluation en temps réel de l'apprenant ; la possibilité de répéter les gestes de nombreuses fois ; enfin, la simulation peut être construite pour suivre la progression des apprenants et pour limiter leur charge cognitive. Cependant, toutes les formes de simulation ne présentent pas les mêmes avantages, et peuvent également avoir certains inconvénients.

L'usage de la simulation et de simulateurs peut permettre d'éviter les coûts liés à l'immobilisation du matériel qui serait nécessaire pour un entraînement en situation réelle, par exemple lors d'apprentissages de procédures d'utilisation d'IRM ou de robots d'aide à la chirurgie. Le coût d'achat de consommables peut être réduit par l'apprentissage par la

simulation. Cependant, il est nécessaire de prendre en compte le fait que certaines situations de simulation peuvent également présenter un coût important (Granry & Moll, 2012). En effet, l'achat de simulateurs haute-fidélité représente un investissement conséquent et ceux-ci nécessitent souvent un entretien régulier ainsi que la présence d'opérateurs qualifiés pour les utiliser. Un support technique et un entretien régulier sont nécessaires. De plus, pour de nombreuses simulations médicales l'achat de consommables divers est obligatoire, en effet les matériels utilisés ne sont pas toujours réutilisables. Les situations de simulation présentant une plus faible fidélité physique sont généralement celles qui occasionnent les plus importantes économies (Gallagher & O'Sullivan, 2012).

En se dégageant des contraintes de la situation-cible, la simulation permet également de simuler des conditions difficiles ou dangereuses, comme un arrêt cardiaque ou une attaque cérébrale. En situation réelle, les apprenants sont susceptibles de commettre des erreurs pouvant blesser ou mettre en danger un patient. Celles-ci doivent donc être minimisées et prévenues par la présence d'un médecin qui supervise les procédures. Dans une situation simulée les formateurs peuvent laisser les apprenants commettre ces erreurs pour leur enseigner les conséquences de celles-ci. Cela peut permettre aux apprenants d'apprendre à gérer leurs erreurs de façon appropriée. La simulation permet, comme vu dans la sous-section précédente, de ne pas mettre les patients en danger mais également d'augmenter la sécurité de l'apprenant (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Les simulations médicales permettent de réduire les risques sanitaires pour les apprenants, comme dans les cas de diagnostics de maladies contagieuses. De nombreux formats de simulation permettent également d'être installés dans des conditions variées et de reproduire des environnements dangereux pour l'apprenant : soins en territoire hostile, territoire en guerre ou attentats. Ce détachement des contraintes de l'environnement réel peut permettre de simuler une variété de conditions environnementales différentes.

Cette flexibilité permet un usage varié de nombreuses situations de simulation. En prenant l'exemple d'une simulation dans laquelle sont utilisés une peau synthétique qui présente une plaie et du fil de suture, de nombreuses situations peuvent être mises en place. Il est possible de former les apprenants à la réalisation de points de suture simples, de sutures sous-cutanées, mais également de les former à la prise de décision sur le choix du bon type de points de suture selon le scénario présenté, ou de les former sur les différences entre

sutures à fils et par agrafes. De nombreux simulateurs haute-fidélité sont facilement configurables pour proposer aux apprenants des situations variées et permettent un usage multidisciplinaire (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Cette flexibilité rend possible la création d'une situation inhabituelle, sur laquelle l'apprenant aurait eu peu voire aucune occasion de s'entraîner en situation réelle (Ganier, Hoareau & Tisseau, 2014). Il est possible de proposer des simulations de cas rares, comme des maladies génétiques spécifiques ou des contextes particuliers. Cependant, certains types de simulateurs peuvent être très limités dans ce qu'ils permettent de faire et la création de nouveaux scénarios peut être complexe (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Les simulateurs en réalité virtuelle, par exemple sont très flexibles, mais le développement de nouveaux programmes de formation demande beaucoup de temps et de connaissances.

La situation de simulation permet de se détacher de la chronologie « normale » de la tâche réelle. Dans une situation dans laquelle les choix des apprenants ont des conséquences qui n'apparaissent que sur le long terme, la simulation permet également de faire apparaître les conséquences d'une action qui n'apparaîtrait que des années plus tard en réalité (Caens-Martin, 2005; Leutner, 1993 ; 2002). Le formateur peut décider d'arrêter la simulation pour corriger une erreur ou ralentir le rythme de la simulation, en formulant à haute voix sa demande ou en agissant directement sur l'environnement simulé. Selon Pastré (2005, p. 38) « Quand se produit un incident critique, on peut arrêter le déroulement de la situation dans sa dynamique, pour permettre aux opérateurs de se reprendre et de mieux penser leur stratégie (gel). Et quand, malgré tout, les opérateurs ont été dépassés par les événements, on peut revenir un quart d'heure en arrière, pour rejouer la scène (re-jeu). ».

Cette possibilité de feedback peut être très utile pour l'apprentissage, et ce n'est pas tout ce que permet la simulation. En effet certains simulateurs, comme les simulateurs en réalité virtuels ou les simulateurs connectés peuvent automatiquement proposer des feedbacks aux utilisateurs, basés sur des données objectives (Gallagher & O'Sullivan, 2012). Ces types de simulateurs peuvent collecter automatiquement des données sur l'activité des apprenants et permettre ainsi de les évaluer, de les conseiller et de les corriger. Cette possibilité d'utiliser la simulation pour l'évaluation permet d'attendre que l'apprenant atteigne un niveau correct sur simulateur avant de l'autoriser à pratiquer sur le terrain (Ganier, Hoareau & Tisseau, 2014). Cependant, certains simulateurs, par exemple des simulateurs physiques minimes, ne

permettent pas de récolter des données de cette façon et l'évaluation peut être plus complexe à réaliser (Gallagher & O'Sullivan, 2012).

La simulation rend également possible la répétition de la situation de nombreuses fois. Sans simulateur, comment un étudiant infirmier pourrait-il répéter jusqu'à le maîtriser le geste d'une prise de sang sans infliger une certaine douleur à un patient ? Cette possibilité de répéter la situation présente de nombreux avantages pédagogiques. Tout d'abord cela permet aux apprenants de s'entraîner par la répétition (Anderson, 2013), ce qui est nécessaire pour un apprentissage de procédure. La possibilité de répéter la situation rend également possible le retour sur une situation donnée pour analyser les erreurs de l'apprenant, puis un « re-jeu » de la situation pour appliquer les éléments appris lors de l'analyse.

Un autre avantage de la simulation est qu'elle permet de contrôler et limiter la complexité du contexte de la situation. En effet, le contexte réel d'une tâche est susceptible d'imposer une charge cognitive importante pour l'apprenant. Le nombre d'informations auxquelles l'individu se trouve confronté en situation réelle peut être très élevé et la simulation rend possible leur réduction en se concentrant uniquement sur certains aspects de la tâche. Contrairement à une situation réelle de pratique où la tâche doit généralement être réalisée dans son ensemble et concentrée sur une seule période de temps pour être réussie, la simulation rend possible la reconstitution partielle d'une situation. Cela autorise par conséquent les enseignants à centrer l'apprentissage sur un aspect particulier de la tâche, en fonction des difficultés de l'apprenant ou de la difficulté de certains aspects de la tâche (Boucheix, 2015). La construction de différents niveaux de difficulté permet un apprentissage progressif. Le formateur peut également segmenter la tâche en petites unités pour éviter une surcharge cognitive de l'apprenant (Fraser, Ayres & Sweller, 2015).

Une autre source de charge cognitive potentiellement importante qu'il est possible de réduire grâce à la simulation correspond à la charge émotionnelle (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). Par exemple, dans une situation d'accouchement difficile, le stress d'une sage-femme est susceptible d'être très élevé. Il convient d'ajouter à cela les réactions émotionnelles des autres participants, des spectateurs et toutes les autres activités environnantes. Une charge émotionnelle importante peut découler de l'ensemble de la situation. L'utilisation de la

simulation permet la suppression de certaines variables émotionnelles extérieures et de concentrer l'activité de l'apprenant sur la tâche à réaliser. Toutefois, une situation de simulation n'est pas détachée de toute charge émotionnelle. Fraser et al. (2012) ont montré que lors de certaines situations particulièrement difficiles, comme le décès d'un patient simulé dans une simulation médicale, les apprenants ressentent des émotions fortes. Cet investissement émotionnel dans la simulation peut permettre de travailler les compétences sociales et émotionnelles. Il est cependant nécessaire de contrôler cet investissement émotionnel dans la tâche quand le but de la simulation n'est pas de former sur ces aspects.

La simulation offre donc de nombreux avantages pour l'apprentissage médical. Elle permet d'éviter de mettre en danger les patients, mais présente également des avantages en termes de coûts et de variabilité d'apprentissage. Cependant, toutes les formes de simulation peuvent présenter certains inconvénients : le coût de certains simulateurs ou de leur entretien peut être très important, la conception des scénarii peut être longue et complexe et l'évaluation de l'apprentissage peut également être difficile. C'est pourquoi il est nécessaire d'adapter la simulation au type de formation visé (Gallagher & O'Sullivan, 2016). Si l'utilisation des situations de simulation semble profitable grâce à de multiples atouts, il est cependant nécessaire de se poser la question de son efficacité pédagogique.

#### **4. Efficacité pédagogique de la simulation en médecine**

Aujourd'hui, au-delà de la nécessité éthique, la simulation est reconnue comme un moyen efficace pour faire acquérir des compétences médicales. Ces dernières années, un grand nombre d'études portant sur l'efficacité des simulations pour l'apprentissage médical ont été réalisées. Dans le cas d'une situation de simulation visant l'acquisition de connaissances, une simulation est considérée comme efficace lorsque les connaissances visées sont acquises, et si possible, utilisées en situation. Lorsque la simulation concerne l'acquisition de gestes ou de procédures, elle est généralement considérée comme efficace si elle permet de maximiser le transfert à la tâche en situation réelle (Leplat, 2005).

Lorsqu'on s'intéresse aux études qui portent sur l'efficacité de l'apprentissage médiatisé par la simulation il est nécessaire de se poser plusieurs questions. De quel type de simulateur s'agit-il ? Simulateur physique, patient standardisé ou réalité virtuelle ? Quel était le but de l'apprentissage ? Comment l'apprentissage est-il évalué : à travers un questionnaire, une

évaluation sur simulateur ou une évaluation en situation réelle ? À quel moment l'apprentissage est-il évalué ? Sur la base de ces questions, il est possible de classer les études selon différents critères. Une première sous-section vise à définir les différentes méthodes d'évaluations utilisées dans les études qui portent sur l'efficacité des situations de simulation et ce qu'elles permettent réellement d'évaluer. La seconde sous-section porte sur les études évaluant l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage, selon les méthodes utilisées. Les deux sous-sections seront organisées suivant la pyramide d'évaluation des formations de Kirkpatrick (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006, Figure 8) : évaluation des réactions des participants, évaluation de leurs apprentissages, évaluation de leurs comportements et évaluation des résultats.

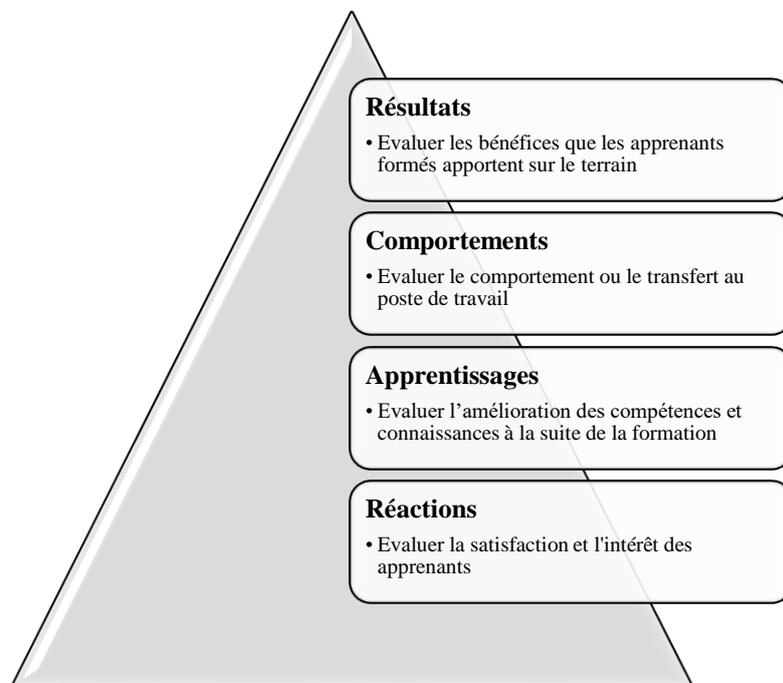


Figure 8. Pyramide d'évaluation des formations, d'après Kirkpatrick et Kirkpatrick (2006)

#### 4.1. Les méthodes d'évaluation de l'efficacité de la simulation

Les études qui portent sur l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage utilisent des mesures de satisfaction et d'intérêt, des mesures par questionnaires ou questions courtes ou des mesures réalisées en situation simulée ou réelle (Cook et al., 2012; Ganier & de Vries, 2016; Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012). Certaines études portent également sur l'impact traductionnel (*transactional impact*) de l'apprentissage par la simulation. La recherche traductionnelle en simulation médicale éducative cherche à comprendre à quel point les résultats positifs de la simulation obtenus en recherches

cliniques peuvent avoir un impact positif sur les pratiques de soin aux patients et sur la santé des patients et publique (McGaghie, Draycott, Dunn, Lopez & Stefanidis, 2011). Les 4 niveaux de la pyramide de Kirkpatrick sont généralement représentés dans ces études (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Leur analyse permet d'estimer l'efficacité de la simulation au regard des différents aspects évalués. Elle vise également à distinguer l'utilité des différentes méthodes d'évaluation selon l'apprentissage évalué.

L'intérêt de l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage dans le domaine médical est souvent étudié en utilisant des évaluations subjectives comme des échelles ou des questions ouvertes. Il s'agit du premier niveau de la pyramide de Kirkpatrick : l'évaluation des réactions des participants (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Les mesures peuvent porter sur la satisfaction ou l'intérêt de l'apprenant vis-à-vis de la simulation (Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012). Elles peuvent également comparer la confiance en soi et la motivation de l'apprenant avant et après la formation, ou par rapport à une autre situation de formation (Barsuk, McGaghie, Cohen & Balachandran, 2009). Les questions ouvertes permettent généralement d'approfondir les avis des apprenants sur la simulation effectuée (Kamdar et al., 2013). Ce type de mesures ne permet pas de conclure sur l'efficacité de ces méthodes en ce qui concerne l'apprentissage, mais permet d'avoir un regard sur l'avis des apprenants vis-à-vis de la simulation.

Pour vérifier l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage il est nécessaire de dépasser les mesures de satisfaction et de s'intéresser à l'amélioration des compétences et connaissances à la suite de la formation en simulation. Ce type d'évaluation correspond au deuxième niveau de la pyramide de Kirkpatrick : l'évaluation de l'apprentissage (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Celle-ci peut se faire de plusieurs façons. De nombreuses études évaluent l'efficacité de l'apprentissage simulé par des questionnaires ou des questions courtes. Dans une méta-analyse sur l'efficacité des simulations pour l'apprentissage médical, Cook et al. (2012) ont relevé que 45% des expériences mesuraient l'efficacité pédagogique de la simulation à travers une évaluation des connaissances. L'utilisation de questionnaires, de questions courtes ou de rédactions pour l'évaluation est particulièrement utile lorsque l'apprentissage visé par la simulation concerne les connaissances ou certains cas de résolution de problèmes. Pour évaluer l'efficacité d'une simulation qui concernerait l'apprentissage des symptômes d'une maladie, l'utilisation d'un questionnaire demandant

de retrouver les symptômes appris pourrait être pertinente. Cependant, ces méthodes d'évaluation ne permettent pas de vérifier en situation réelle l'utilisation des connaissances acquises ni d'évaluer l'acquisition de gestes, procédures ou habiletés. Dans le cas de l'apprentissage d'un geste technique, il est possible d'évaluer l'apprentissage en demandant de rappeler verbalement les choses à faire et ne pas faire lors de la réalisation. Ce rappel ne garantira cependant pas la maîtrise du geste, ni la réussite en situation. L'évaluation à travers un questionnaire présente donc des limites importantes pour évaluer l'acquisition de connaissances procédurales. En effet, les chapitres précédents ont montré que l'apprentissage de procédures et de gestes se déroule à travers leur réalisation et qu'une évaluation appropriée s'appuie sur la pratique (Anderson, 1982).

Lorsqu'il s'agit d'évaluer l'apprentissage d'une procédure, il est nécessaire de demander aux apprenants de réaliser celle-ci. Dans ces cas, sont généralement utilisées des échelles cliniques objectives et structurées (Ganier & de Vries, 2016; Mills, Carter, Rudd, Ross & Claxton, 2015) ou des mesures comportementales comme le nombre de demandes d'aide, le nombre d'essais avant réalisation correcte ou encore le temps mis pour réaliser la tâche (Boucheix, 2015; Ganier & de Vries, 2016). L'utilisation d'échelles objectives ou de mesures comportementales est fortement adaptée si l'apprentissage concerne les routines, les habiletés ou procédures. En effet, ce sont des connaissances procédurales qui s'expriment fondamentalement par la performance (Anderson, 2014). La mise en situation est donc indispensable pour l'évaluation de celles-ci. Lorsque la réalisation du geste est évaluée, il est nécessaire de savoir à quoi les résultats obtenus sont comparés. Les résultats des participants peuvent être comparés aux les résultats obtenus avant la simulation, à ceux obtenus avec d'autres méthodes d'apprentissage ou à des résultats théoriquement attendus.

Ces mesures peuvent également être réalisées dans des contextes différents : dans une étude de Boucheix (2015) et une étude de Ganier et de Vries (2016) l'évaluation de l'apprentissage était réalisée sur simulateur, mais dans certaines études les auteurs vérifient directement en situation réelle l'efficacité de l'apprentissage sur simulateur (Meyer, Connors, Hou & Gajewski, 2011). Dans ce cas, les auteurs évaluent la formation sur le troisième niveau de la pyramide de Kirkpatrick : le comportement ou transfert au poste de travail (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Le transfert à la situation réelle constitue le but

principal de l'apprentissage de connaissances procédurales sur simulateur, et l'évaluation sur le terrain permet de juger directement de l'efficacité du transfert en situation réelle. Lorsqu'elle porte sur des patients, l'évaluation sur le terrain peut pourtant poser des questions éthiques et des problèmes pratiques. En effet, si le mode d'apprentissage évalué s'avère peu efficace, les apprenants peuvent avoir des compétences limitées. Ces apprenants qui interviendront alors sur des patients réels peuvent représenter un danger pour ceux-ci (Spruit, Guido, Haming & Ridderinkhof, 2014). Or, les professionnels de santé ont pour obligation de proposer un traitement optimal et d'assurer la sécurité et le bien-être du patient. L'évaluation de l'efficacité des méthodes de formation directement sur le terrain peut nuire à la sécurité des patients et donc ne pas être éthiquement viable. Il est par conséquent nécessaire de s'assurer que les apprenants ont atteint un niveau minimal de connaissances de la procédure visée avant une évaluation en situation réelle. De plus, l'évaluation peut être plus complexe sur le terrain car les critères d'évaluation peuvent dépendre des patients rencontrés, et la réalité de la pratique ne permet pas toujours de dégager suffisamment de temps pour réaliser cette évaluation.

La plupart des méthodes utilisées dans les études qui évaluent l'efficacité de la simulation se focalisent sur les gains de l'apprentissage à court ou moyen terme (Nestel, Groom, Eikeland-Husebø & O'Donnell, 2011). L'apprentissage est généralement évalué immédiatement après la simulation ou quelques jours, voire quelques semaines après, mais peu d'études s'intéressent aux bénéfices que des apprenants formés par la simulation peuvent apporter à long terme sur le terrain. Cependant, certains auteurs (McGaghie, Draycott, Dunn, Lopez & Stefanidis, 2011) cherchent à comprendre à quel point les résultats positifs de la simulation obtenus en recherches cliniques avec des étudiants peuvent avoir un impact positif sur la santé des patients ou la santé publique. Ainsi, ces évaluations concernent le quatrième niveau de la pyramide de Kirkpatrick : les résultats de la formation (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Par exemple, Barsuk, Cohen, Feinglass, McGaghie et Wayne (2009) évaluent l'impact traductionnel de la formation par simulation sur les infections nosocomiales en mesurant le nombre d'infections enregistrées dans les services hospitaliers.

#### **4.2. L'étude de l'efficacité de la simulation**

L'efficacité de la simulation pour l'apprentissage médical est généralement évaluée à travers les différents éléments vus précédemment : l'évaluation par mesures subjectives,

l'évaluation de l'apprentissage déclaratif, l'évaluation de l'apprentissage procédural en simulation ou en situation réelle et l'évaluation de l'impact traductionnel des simulations.

Concernant l'évaluation du premier niveau de la pyramide (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006), une synthèse de la littérature réalisée par Nestel, Groom, Eikeland-Husebø et O'Donnell (2011) fait apparaître des résultats plutôt positifs. Les apprenants et enseignants expriment généralement de hauts niveaux de satisfaction suite à l'utilisation de la simulation comme méthode pédagogique. La satisfaction des apprenants exprime le fait qu'ils préfèrent généralement l'utilisation de la simulation plutôt qu'un cours classique (Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012; Smithburger, Kane-Gill, Ruby & Seybert, 2012; Shaikh, Hseino, Hill, Eamon & Traynor, 2011). L'augmentation de la confiance en soi des apprenants est également remarquée (Barsuk, McGaghie, Cohen & Balachandran, 2009; Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012; Kamdar et al., 2013). Les apprenants citent comme avantages de la simulation la possibilité de s'entraîner, de revoir des concepts fondamentaux et de poser des questions en dehors de la présence de patients (Kamdar et al., 2013). Dans une étude de Takayesu et al. (2006) des étudiants devaient commenter les apports et inconvénients d'une formation sur simulateur qu'ils venaient d'effectuer. Les participants ont rapporté que la simulation avait permis une auto-évaluation de leurs compétences, un apprentissage et une amélioration de leur motivation. Les apprenants apprécient l'expérience d'une pratique sans risque et désirent davantage d'apprentissage par la simulation. Trente-cinq pour cent des externes notent également que la pratique en simulation est bénéfique non seulement pour apprendre des gestes techniques mais également pour consolider les connaissances de base, développer l'esprit critique et bénéficier de retours constructifs sur leur pratique. Certaines études mettent cependant en évidence que la réalisation d'un cours par simulation peut induire un stress plus important chez les apprenants par rapport à un cours classique (Kamdar et al., 2013; Smithburger, Kane-Gill, Ruby & Seybert, 2012).

Pour l'évaluation de l'apprentissage, les méthodes dépendent des buts de formation de la simulation. La simulation peut avoir pour but l'apprentissage de connaissances déclaratives ou de compétences de résolution de problèmes. Plusieurs études ont montré son efficacité dans ce cas. Par exemple, Smithburger, Kane-Gill, Ruby et Seybert (2012) ont comparé l'efficacité de trois différentes méthodes pour enseigner des connaissances déclaratives sur

la gestion des troubles épileptiques : l'apprentissage basé sur le problème, l'apprentissage sur un simulateur haute-fidélité et l'apprentissage en situation standardisée. Les étudiants devaient connaître les médicaments à utiliser, leur dosage et leurs effets secondaires. À la fin de chaque session, les étudiants devaient répondre à un questionnaire papier qui évaluait l'acquisition des connaissances. Cette étude montre des résultats positifs, de l'utilisation de la simulation par rapport aux autres méthodes, sur l'acquisition de connaissances. Une autre étude (Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012), fait également apparaître l'efficacité de la simulation pour l'acquisition de compétences de résolution de problèmes. Dans cette étude, les auteurs se s'intéressaient au diagnostic d'arrêt cardiaque et comparaient un apprentissage basé sur la simulation à un apprentissage basé sur des résolutions de problèmes cliniques. Les étudiants en pharmacie qui suivaient la formation étaient évalués grâce à un questionnaire qui portait sur leurs connaissances et grâce à des questions courtes qui portaient sur des diagnostics de cas. Les étudiants ayant réalisé la simulation avaient des scores de 15% supérieurs aux étudiants ayant réalisé la résolution de problèmes.

Dans le cas où la simulation vise l'apprentissage procédural, certaines études mettent également en évidence des effets positifs de la simulation pour l'apprentissage. Barsuk, McGaghie, Cohen et Balachandran (2009) ont montré l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage dans le cas de l'insertion de cathéter veineux central. Cette procédure est complexe et est potentiellement dangereuse en cas d'échecs répétés qui peuvent déclencher des complications médicales. La pratique sur simulateur des apprenants était évaluée à l'aide de grilles d'évaluation. Au terme des quatre heures de simulation prévues, 89% des apprenants atteignent le score recommandé. Après une heure supplémentaire, la totalité des apprenants atteignent ce score. L'étude fait apparaître que les connaissances procédurales des internes sont significativement meilleures après la réalisation de la simulation qu'avec la simple pratique de terrain. Seybert, Smithburger, Kobulinsky et Kane-Gill (2012) mettent également en évidence l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage médical. Ils comparent un apprentissage basé sur l'étude de cas et une recherche personnelle à un apprentissage sur simulateur pour l'enseignement du diagnostic et du traitement de défaillances cardiaques. La comparaison des deux situations d'apprentissage,

à l'aide d'une évaluation clinique juste après l'apprentissage, fait apparaître des scores 15 % supérieurs pour le groupe ayant suivi l'apprentissage par simulation.

Ces deux études étaient réalisées sur simulateur, mais l'efficacité de l'apprentissage par la simulation a également été mise en évidence sur le transfert en situation réelle, le troisième niveau de la pyramide de Kirkpatrick (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Ainsi, Barsuk, McGaghie, Cohen et Balachandran (2009), remarquent que les internes ayant eu un entraînement en situation de simulation réussissaient mieux l'insertion de cathéter sur le terrain de stage que ceux ayant uniquement réalisé le stage. Une étude de Meyer, Connors, Hou et Gajewski (2011) compare également les performances sur le lieu de stage d'étudiants ayant suivi une formation par la simulation à celles d'étudiants n'ayant pas encore bénéficié de cette formation. L'évaluation des étudiants était réalisée deux fois par semaine par les professionnels de santé sur le lieu de stage. Les étudiants ayant réalisé le programme de simulation obtenaient de meilleurs résultats que les autres. Ils atteignaient de meilleures performances plus rapidement et leurs résultats étaient constants dans la durée. Pour faire apparaître l'efficacité de la simulation, certains auteurs comparent des groupes assez différents. Par exemple, Singer et al. (2013) comparent des internes de première année qui ont été formés classiquement avec l'ajout d'un module pédagogique basé sur la simulation à des internes de troisième année ayant uniquement suivi une formation classique. De façon surprenante, l'ajout du module de simulation permet aux internes de première année d'obtenir de meilleurs scores que les internes de troisième année sur une évaluation au chevet d'un patient. Ces études mettent en évidence des effets positifs de l'usage de la simulation pour l'apprentissage, les connaissances procédurales étant généralement bien transférées en situation réelle. D'autres études ont montré l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage, à l'aide d'évaluation sur un simulateur ou sur un patient, autant sur la réduction du temps d'exécution, sur la qualité de la réalisation ou sur la qualité du produit final (Cook et al., 2012; Zendejas, Brydges, Wang & Cook, 2013).

Concernant l'impact traductionnel ou l'évaluation des résultats (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006) de la simulation, peu d'études ont été réalisées sur ce sujet. Néanmoins, certaines font apparaître que la pratique de simulation peut avoir des effets positifs sur les pratiques de soins aux patients, sur la santé de ceux-ci et plus largement sur la santé publique (McGaghie, Draycott, Dunn, Lopez & Stefanidis, 2011). Une étude de Barsuk, Cohen,

Feinglass, McGaghie et Wayne (2009) a déterminé l'impact d'un entraînement, sur simulateur, à la pose de cathéter veineux central sur le nombre d'infections sanguines liées aux cathéters dans une unité de soins intensifs. Des internes passaient 5 mois dans une unité de soins intensifs puis réalisaient un entraînement basé sur la simulation avant de retourner pour 16 mois dans l'unité de soins. Les internes étaient testés avant et après la simulation. D'autres internes, qui servaient de groupe témoin, passaient 21 mois dans une autre unité de soins intensifs sans usage de simulation. Les auteurs ont remarqué une baisse significative des infections dans l'unité de soins gérée par les internes du groupe entraîné en simulation. Le nombre d'infections était également significativement plus faible dans l'unité testée que dans l'unité témoin. Cette étude confirme par ailleurs que les connaissances apprises sur simulateur sont transférables aux situations réelles et qu'elles ont un impact sur la prise en charge des patients. Dans une synthèse de la littérature, McGaghie, Draycott, Dunn, Lopez et Stefanidis (2011) remarquent que même si peu d'études sont menées sur le long terme, celles qui s'y intéressent mettent en évidence des effets positifs de l'apprentissage par la simulation, tout particulièrement si cette pratique se focalise sur la maîtrise de connaissances et compétences précises.

Pour résumer, la plupart du temps, l'utilisation de la simulation résulte en une évaluation positive de la part des apprenants (Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012) et une amélioration des connaissances et des compétences (Nestel, Groom, Eikeland-Husebø & O'Donnell, 2011). Il apparaît que l'entraînement par la simulation est globalement efficace pour l'apprentissage de compétences médicales. Toutefois, si la littérature scientifique manque d'études sur l'impact de ces formations à long terme, la plupart des études qui portent sur l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage font apparaître des résultats positifs.

## **5. Conclusion**

La simulation devient une méthode de plus en plus utilisée dans le domaine médical. Elle peut suivre plusieurs buts, tels que la recherche, la conception, l'évaluation ou la formation (Béguin & Weill-Fassina, 1997). Dans le cas de l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage, il est possible d'utiliser le terme de situation de simulation, qui place l'apprentissage au centre de la simulation (De Keyser & Samurçay, 1998; Samurçay & Rogalski, 1998). Ce terme prend en compte la conception à visée pédagogique de la

simulation (Pastré, 2005), car le but d'une situation de simulation est de permettre l'élaboration de compétences. En médecine, comme dans les nombreux domaines dans lesquels elle est utilisée, la simulation permet de former des personnes ayant différents niveaux d'expertise, à différents types de compétences et en utilisant différents types de simulateurs. Dans le domaine médical, la simulation présente l'avantage premier de respecter un certain impératif éthique, car elle permet de ne pas s'entraîner directement sur le patient (Granry & Moll, 2012). De plus, il a été montré que l'apprentissage de procédures nécessite de nombreuses répétitions et peut être très coûteux cognitivement (Anderson, 1982). L'utilisation de simulation permet de répéter la tâche jusqu'à ce qu'elle soit maîtrisée sans mettre en danger les patients. Elle permet également de se détacher de la chronologie « normale » de la tâche et de limiter la complexité du contexte de la situation, ce qui peut limiter la charge cognitive (Sweller, 2010). Cela est particulièrement important pour les apprenants novices au début de l'apprentissage procédural, très coûteux en ressources cognitives (Anderson, 1982).

Grâce à ces nombreux avantages, l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage s'est développée dans le domaine médical. De plus, plusieurs études ont montré que la simulation est généralement efficace pour l'apprentissage de connaissances procédurales (Cook et al., 2012; Nestel, Groom, Eikeland-Husebø & O'Donnell, 2011; Zendejas, Brydges, Wang & Cook, 2013). Cependant, lorsque la simulation procédurale est accompagnée de documents pédagogiques, il est important que ceux-ci soient conçus de manière à respecter la façon dont ils seront utilisés par des apprenants novices en phase déclarative. En effet, lors de cette phase les apprenants ont continuellement besoin de consulter les instructions et doivent généralement réaliser une atomisation de l'action (Tenison & Anderson, 2015; Vermersch, 1985). Il est donc nécessaire de s'intéresser à la conception de documents pédagogiques pour l'apprentissage de procédures en simulation. Outre l'utilisation de la simulation pour l'apprentissage, une autre technologie d'apprentissage se développe largement dans le domaine médical : l'utilisation de l'apprentissage en ligne (Cantarero-Villanueva et al., 2012; Gormley, Collins, Boohan, Bickle & Stevenson, 2009; Welsch, Wanberg, Brown & Simmering, 2003; Wong, Marcus, Leahy & Sweller, 2012). Que celui-ci soit en *e-learning* ou en *blended learning*, il s'agit d'une autre tendance éducative qui a fait ses preuves (Bernard et al., 2009; Graham, 2013). Il est possible de se demander s'il serait

envisageable de combiner l'apprentissage par la simulation avec l'apprentissage en ligne. Serait-il concevable de proposer des cours en ligne contenant un volet qui utilise la simulation ? Et le cas échéant, comment concevoir ces nouvelles approches pédagogiques qui combinent à la fois l'apprentissage en ligne et la simulation ? C'est ce que ce travail de thèse se propose d'étudier à travers les expériences présentées.



# **PARTIE EXPÉRIMENTALE**

---



# INTRODUCTION

L'objectif de cette thèse est d'étudier l'implémentation d'apprentissage par la simulation en combinaison avec de l'apprentissage en ligne. Le but est d'examiner si l'apprentissage de gestes chirurgicaux peut être réalisé en utilisant un module de *e-learning* basé sur la simulation. L'ensemble des études présentées dans cette partie expérimentale a pour objectif premier de vérifier que l'utilisation d'une combinaison d'apprentissage en ligne et de simulation permet de former efficacement des novices à un geste chirurgical. Les études présentées concernent toutes des étudiants en deuxième année de licence de médecine, novices dans le domaine des gestes chirurgicaux, et de fait n'ayant jamais réalisé le geste chirurgical choisi.

Cette partie a pour but de présenter les outils et concepts utilisés lors des expériences réalisées. Le geste chirurgical et les instruments utilisés pour le réaliser sont présentés dans une première section. La deuxième section aborde l'approche *e-learning* et *blended learning* dans nos expériences. La troisième section concerne le paradigme de répétitions multiples utilisé lors des expériences, qui tient compte des différentes phases d'apprentissage d'une procédure. La quatrième section concerne les mesures comportementales utilisées lors des expériences ainsi que les échelles permettant d'évaluer la qualité du geste étudié. Enfin, la cinquième section annonce le principe des différentes expériences qui seront détaillées dans les chapitres suivants.

## 1. Geste technique ciblé et instruments utilisés

Toutes les expériences présentées ont pour objet le même geste chirurgical : le point de suture simple. Il est assez simple à apprendre, même si la maîtrise complète du geste

nécessite beaucoup d'entraînement. La réalisation de points de suture a été choisie pour les expériences pour sa facilité de prise en main. Il s'agit de l'un des premiers gestes que les étudiants en médecine peuvent pratiquer lors de stages sur le terrain. Ce geste simple



Figure 9. Peau synthétique. Tiré de : <https://diamedicalusa.com/medical-equipment/manikins/suturing/professional-skin-pad/>

était adapté au manque d'expertise des participants.



Figure 10. Instruments chirurgicaux

Par ailleurs, l'apprentissage du point de suture en simulation nécessite peu de matériel. Le matériel de simulation consiste en une peau artificielle qui comprend trois couches représentant la peau et les couches graisseuses (Figure 9). Les instruments chirurgicaux utilisés correspondent à

(1) deux types de pinces, pince à griffes et pince sans griffe (Figure 10), (2) des ciseaux (Figure 10), (3) un porte-aiguilles (Figure 10) et (4) un fil serti d'une aiguille (Figure 11). Pour les besoins des expériences, une plaie était pratiquée sur la fausse peau, et les étudiants devaient réaliser les points de suture à l'aide des instruments proposés.



Figure 11. Aiguille filée de marque Polysorb.

## 2. E-learning et blended learning

Nos expériences se déroulent dans un contexte de réflexion à la faculté de Médecine de l'université de Brest, sur l'optimisation de l'efficacité de l'apprentissage des gestes techniques par simulation. Dans ce contexte cette réflexion vise à développer des cours en ligne, permettant de compléter les cours en présentiel, déjà proposés aux étudiants. L'objectif est donc de proposer une formation en *blended learning*, impliquant une combinaison d'apprentissages en face à face et en ligne (Graham, 2013).

Toutes nos expériences sont réalisées en présentant des instructions sur un ordinateur. Celles-ci ne sont pas consultées par les étudiants en ligne (sauf dans le cas de la dernière expérience), mais localement, en présence de l'expérimentateur. Les expériences ne sont donc pas directement réalisées en *e-learning*, si on définit celui-ci comme un apprentissage se déroulant en ligne. Nous avons décidé de définir le *e-learning* comme l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, principalement sur des intranets ou sur internet, pour transmettre de l'information et des instructions à des individus pour l'éducation et la formation (Sun, Tsai, Finger, Chen & Yeh, 2008). Dans ce cas, la consultation d'instructions téléchargées sur un ordinateur peut être considérée comme du *e-learning*.

De plus, les instructions utilisées lors de ces expériences sont construites pour être possiblement utilisées sur une plateforme de cours en ligne, telle que Moodle, et pourraient y être directement consultées. Pour des raisons techniques comme l'utilisation de logiciels de suivi utilisateur et d'*eye-tracking*, il était plus simple de proposer les instructions directement depuis l'ordinateur utilisé. Cependant, les situations d'apprentissage étudiées peuvent être considérées comme une simulation de situation d'apprentissage en ligne, les étudiants n'ayant accès qu'aux instructions de l'ordinateur pour réaliser la procédure.

C'est pourquoi, nous considérons que les expériences menées dans cette thèse permettent également de vérifier la validité de l'apprentissage en *e-learning*.

### **3. Répétitions de la procédure et méthode expérimentale**

Notre travail s'intéressait à l'apprentissage procédural et aux documents procéduraux. La distinction entre connaissances déclaratives et connaissances procédurales est importante en psychologie cognitive. Pour l'acquisition de connaissances procédurales et leur automatisation, la répétition de l'action est essentielle, contrairement à l'acquisition de connaissances déclaratives. Cependant, dans de nombreuses études sur l'apprentissage procédural, les apprenants ne réalisent la procédure qu'une seule fois (Dixon, 1982; Arguel & Jamet, 2009; Ayres, Marcus, Chan & Qian, 2009; Garland & Sanchez, 2013). Ce paradigme de réalisation unique ne permet pas d'étudier les différentes étapes de l'acquisition d'une procédure et le passage de la phase déclarative aux phases plus avancées (Anderson, 2013). Une étude préliminaire à ce travail, menée par Ganier et de Vries (2016) comparait l'utilisation d'instructions animées ou statiques pour l'apprentissage du point de suture. Elle

a montré que des résultats différents en termes de performances pouvaient être observés à différentes phases de l'apprentissage. Cette étude, qui reposait sur plusieurs répétitions de la procédure, a mis en évidence qu'au premier essai, des instructions animées étaient plus efficaces que des instructions statiques pour tous les indicateurs temporels. En revanche, cette tendance s'inversait aux essais suivants, où les performances enregistrées pour le format statique étaient meilleures que celles enregistrées pour le format animé. Cette étude fait clairement apparaître l'importance à accorder à la réalisation de plusieurs essais lors de l'apprentissage d'une procédure, car les phases successives de l'apprentissage peuvent interagir de façon différente avec les variables étudiées. Par ailleurs, dans le cadre de l'apprentissage de la réalisation de points de suture, le but est de préparer les étudiants en médecine à leur pratique future. La consultation des instructions a donc pour but l'apprentissage d'une procédure pour une utilisation future, il s'agit de « lire pour apprendre à faire » (Redish, 1989). Lorsque le paradigme expérimental ne prévoit qu'une seule réalisation de la procédure, le but induit est uniquement de réaliser la tâche et donc de « lire pour faire » (Stitch, 1985).

Dans une situation d'apprentissage procédural, il est nécessaire de considérer que les apprenants doivent réaliser la procédure plus d'une fois. Dans la mesure où les différentes phases de l'apprentissage peuvent exercer des effets différents sur les variables mesurées (Ganier & de Vries, 2016), il nous semble pertinent d'étudier l'effet de la répétition. Toutes les études présentées dans cette thèse adopteront un paradigme qui permet plusieurs réalisations de la tâche.

#### **4. Mesures comportementales et échelles utilisées**

Les études actuelles qui concernent l'apprentissage procédural, en particulier les études dans le domaine médical, évaluent parfois l'apprentissage du geste ou de la procédure à l'aide de questionnaires ou de tests demandant des réponses déclaratives (Arguel & Jamet, 2009; Pape-Kohler, Chmelik, Heiss & Lefering, 2013; Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012; Takayesu et al., 2006). Si ces méthodes d'évaluation sont utiles pour les recherches portant sur la mémoire déclarative, les connaissances procédurales sont difficiles, voire impossibles à exprimer de façon déclarative (Anderson, 2014). C'est pourquoi les méthodes d'évaluation utilisées dans cette thèse s'appuient en grande partie sur des mesures comportementales et des échelles objectives et structurées. Par ailleurs, les

mesures comportementales sont généralement utilisées pour mesurer indirectement la charge cognitive (van Hooijdonk & Krahmer, 2008). La théorie de la charge cognitive étant l'une des théories au centre de cette thèse, l'utilisation de mesures comportementales semble d'autant plus appropriée.

Les mesures utilisées dans les différentes expériences portent sur (1) la durée d'exposition en lecture des instructions ou durée de consultation des instructions, (2) la durée d'exécution du geste et (3) la durée de réalisation de la procédure (depuis la première consultation d'instruction ou la première action, jusqu'à l'achèvement de la procédure). Puisque, comme avancé dans le chapitre 4, l'évaluation sur le terrain peut poser des problèmes éthiques, en particulier lorsque les apprenants sont novices et qu'ils peuvent réaliser des erreurs, les évaluations sont réalisées en situation simulée. Ainsi, ces évaluations concernent le deuxième niveau de la pyramide de Kirkpatrick : l'évaluation de l'apprentissage (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Selon la condition dans laquelle les individus se trouvent, le nombre d'alternances entre consultation et exécution, et la durée d'une consultation des instructions sont parfois mesurés.

Des mesures portant sur le nombre d'erreurs et la qualité d'exécution sont utilisées pour rendre compte de la qualité de réalisation du point de suture. L'échelle OSATS (*Objective Structured Assessment of Technical Skills*), conçue par Martin et al. (1997), traduite en français et adaptée pour une utilisation spécifique sur l'évaluation du point de suture par Bréaud et al. (2013, Annexe 1) est utilisée pour mesurer la qualité du point de suture. Elle permet d'évaluer la qualité du point de suture sur huit critères : (1) Respect des tissus, (2) Gestuelle, (3) Préhension et manipulation des instruments, (4) Réalisation du nœud, (5) Déroulement de la procédure, (6) Connaissance de la procédure, (7) Performance globale et (8) Qualité du produit final. Chaque critère étant noté de 1 à 5 points, cette échelle permet une analyse assez fine de la qualité de l'exécution (score sur 40 points). L'échelle qui mesure le nombre d'erreurs, utilisée dans les différentes expériences regroupe six erreurs à ne pas commettre, identifiées en amont de la réalisation des expériences (Annexe 2). Elle permet de noter pour chaque point de suture les erreurs commises par le participant. Ces deux échelles étaient remplies par l'expérimentateur. Le choix de ces mesures permet d'évaluer l'apprentissage du geste dans sa réalisation et donc d'appréhender les connaissances procédurales acquises.

Deux questionnaires (Annexe 3 et Annexe 4) comprenant des items, inspirés de Smithburger, Kane-Gill, Ruby et Seybert (2012) et de Takayesu et al. (2006), sont utilisés pour évaluer (1) la confiance en soi des participants sur la réalisation d'un point de suture, (2) leur compétence perçue, (3) l'intérêt des participants, (4) la satisfaction des participants, (5) la facilité d'apprentissage perçue et (6) les bénéfices perçus de l'exercice. Nous avons ainsi également évalué le premier niveau de la pyramide de Kirkpatrick (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006). Selon les expériences, des mesures supplémentaires ont été réalisées, comme l'évaluation de la charge de travail à travers l'échelle NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988, Annexe 5), l'effort mental (Paas & van Merriënboer, 1993, Annexe 6) ou la difficulté perçue (Annexe 7).

## **5. Expériences menées au cours de cette thèse**

Cinq études ont été réalisées au cours de cette thèse, chacune visant à résoudre un aspect de notre questionnement.

La revue de littérature menée dans la partie théorique a montré que l'apprentissage procédural diffère de l'apprentissage déclaratif par la façon dont les apprenants consultent les documents à leur disposition. En effet Vermersch (1985) fait apparaître que, dans une situation d'utilisation d'instructions procédurales, les apprenants réalisent une atomisation de l'action. Celle-ci se déroulerait majoritairement lors de la première phase de l'apprentissage procédural, la phase déclarative, car celle-ci imposerait une forte charge cognitive aux individus (Anderson, 1982; Fraser, Ayres & Sweller, 2015). La première expérience vise à vérifier que sans qu'aucune consigne ne leur soit donnée sur la façon de consulter les instructions, les apprenants réalisent bien une atomisation de l'action telle que décrite par Vermersch (1985). Il s'agit également de vérifier que l'atomisation de l'action est réalisée quel que soit le support utilisé (instructions statiques ou animées) et que celle-ci n'est pas contrainte par un support statique. En effet, dans l'étude de Vermersch (1985) les apprenants utilisaient des instructions statiques sous forme de texte. Cette étude permettait d'examiner si l'atomisation de l'action est contrainte par le format des instructions ou par les limites de la mémoire de travail. Cette première expérience permet également de comparer l'effet de l'utilisation d'instructions photo et vidéo sur l'apprentissage du point de suture.

Selon Vermersch (1985), l'atomisation de l'action devrait permettre, de réduire la charge cognitive en réduisant la quantité d'information que les apprenants doivent conserver en mémoire simultanément. La deuxième étude cherche à vérifier que l'atomisation de l'action est utile pour l'apprentissage. Pour cela, les apprenants sont répartis en deux conditions : une première dans laquelle ils peuvent consulter les instructions comme ils le désirent tout au long de leur réalisation de la tâche, et ainsi alterner entre consultation et exécution ; et une deuxième dans laquelle ils doivent consulter les instructions avant d'exécuter les actions et ne peuvent plus les consulter après avoir démarré l'action.

Les deux expériences suivantes s'intéressent à la façon de concevoir les documents *e-learning* multimédias pour la simulation, en fonction du point de vue des instructions graphiques qui s'y trouvent : vision à la première personne (point de vue égocentré) ou à la deuxième personne (point de vue hétérocentré). En effet, la partie théorique fait apparaître que l'apprentissage procédural est coûteux en ressources cognitives et que celles-ci sont limitées (Miller, 1956). Si les instructions présentées selon un certain point de vue sont plus difficiles à traiter, cela pourrait augmenter la charge de traitement en mémoire de travail et gêner l'apprentissage, notamment chez les individus éprouvant plus de difficultés à manipuler mentalement des informations de nature imagée (Sweller, 1994, 2010). La charge cognitive étant dépendante des caractéristiques individuelles (Fraser, Ayres & Sweller, 2015), les capacités de rotation mentale et de prise de perspective des apprenants sont mesurées en vue de déterminer si celles-ci pourraient jouer un rôle dans le traitement des instructions (Vandenberg & Kuse, 1978, Annexe 8; Hegarty & Waller, 2004, Annexe 9).

La cinquième expérience permet de tester le module d'apprentissage, issu des premières expériences, en réalisant l'implémentation de ce module en ligne et par simulation, dans un contexte universitaire. Cette dernière étude permet de vérifier l'efficacité de l'apprentissage par *blended learning* (Graham, 2013) en utilisant la simulation dans un contexte quasi-écologique.

Certaines expériences menées lors de cette thèse servent également des objectifs de recherche communs. En effet, les quatre premières expériences menées dans cette thèse ont également comme objectif d'étudier le rapport entre atomisation de l'action et phases de l'apprentissage procédural. Lors de chacune des expériences nous avons récolté des

données comportementales concernant le nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions, pour les groupes laissés libres de consulter les instructions autant qu'ils le désiraient. L'étude de ces résultats aura pour but de vérifier que l'utilisation d'une mesure comportementale, comme le nombre d'alternances, permet de mettre en évidence la différence entre la phase déclarative et la phase de compilation des connaissances lors de l'apprentissage de procédure.

Lors de toutes les expériences menées nous avons également évalué la validité interne de la situation d'apprentissage (Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017). C'est-à-dire que la première expérience cherche à vérifier, à travers l'étude des courbes d'apprentissage, que l'utilisation d'une combinaison d'apprentissage en ligne et en simulation permet de former efficacement des novices à la réalisation de points de suture. Les expériences suivantes s'assurent de la validité interne de la situation pour confirmer que les participants se trouvent bien dans une situation d'apprentissage similaire.

Ces études ont reçu l'accord du Comité éthique pour la recherche de l'Université de Bretagne Occidentale (avis n°1/2017 – 10 et n°2/2017 – 3). En accord avec les principes éthiques de recherche en psychologie, les participants ont signé un formulaire de consentement libre et éclairé, les informant notamment qu'ils pouvaient se retirer de l'étude à n'importe quel moment et que leur anonymat serait préservé.

## **CHAPITRE 5 – CONSULTATION DES DOCUMENTS PROCEDURAUX PHOTO ET VIDEO : L'ATOMISATION DE L'ACTION**

Cette première étude cherche d'une part à vérifier que les apprenants réalisent une atomisation de l'action au début de l'apprentissage (Vermersch, 1985) et d'autre part à examiner les influences potentielles de différents formats de présentation sur l'apprentissage procédural et l'atomisation.

En effet, dans son étude sur l'atomisation de l'action, Vermersch (1985) utilisait des instructions statiques sous forme de texte uniquement. Ces instructions avec lesquelles ce phénomène a été mis en évidence, sont discrètes par nature car elles n'imposent pas un flux continu d'information et peuvent être segmentées en mots, phrases ou paragraphes. Il s'agit donc de déterminer si cette atomisation est contrainte par l'empan mnésique des apprenants ou par la segmentation des instructions statiques discrètes. Cette expérience cherche à comparer l'utilisation d'instructions statiques et l'utilisation d'instructions animées pour examiner l'implication possible du format dans la manière dont les apprenants consultent les instructions.

Il s'agit également de vérifier que le nombre d'essais interagit avec les autres variables étudiées. Auquel cas, les formats des instructions n'auraient pas le même effet sur l'apprentissage à différents moments de celui-ci.

### **1. Atomisation de l'action et segmentation des documents**

Nous avons vu dans les chapitres précédents que l'apprentissage procédural se différenciait de l'apprentissage de connaissances déclaratives par plusieurs aspects. La construction des connaissances procédurales en est un. En effet selon Anderson (2013), l'apprentissage procédural se découperait en trois phases : (1) une phase déclarative, (2) une phase de compilation et (3) une phase d'automatisation. Lors de la première phase, les apprenants traitent les connaissances déclaratives présentes dans les instructions : ils les encodent et les traduisent sous une forme procédurale, pour pouvoir réaliser les actions demandées. Ce traitement des instructions est réalisé de façon particulière par les apprenants. Les travaux menés au cours des dernières années dans le domaine de l'apprentissage procédural

(Ganier, 2013) font apparaître qu'en situation réelle, la consultation d'instructions alterne avec la réalisation d'actions selon un phénomène nommé l'atomisation de l'action (Vermersch, 1985). Lorsqu'aucune consigne particulière n'est fournie à l'utilisateur sur la manière de gérer la tâche ou de consulter les instructions, celui-ci passe par une succession de cycles de traitement au cours desquels des activités de lecture de courts segments de texte alternent avec des activités d'exécution (Heurley & Ganier, 2006). Vermersch (1985) a observé que des individus découpaient les instructions en « tâches élémentaires » qui correspondent chacune à une partie de l'action. Entre chaque tâche élémentaire, l'apprenant consulte les instructions, ce qui entraîne un nombre très élevé d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions tout au long de la réalisation de la procédure. Les consultations des instructions sont généralement très courtes lors de l'atomisation de l'action. Vermersch a montré que l'atomisation de l'action ne suit pas le découpage original des instructions mais segmente beaucoup plus finement celles-ci. Une instruction (« Mettez 200 g de farine dans le saladier ») est généralement découpée en plusieurs micro-actions élémentaires (prendre la farine, prendre le saladier, mesurer la farine et verser la farine dans le saladier) entre lesquelles l'apprenant consulte les instructions.

Dans la conception de tâches d'apprentissage, une approche utilisée pour réduire la charge cognitive consiste à segmenter les informations en découpant les procédures en tâches plus petites (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). Il s'agit de segmenter l'information en réduisant les tâches à des segments gérables et en répétant l'exécution de chaque segment jusqu'à ce qu'il soit stocké en mémoire à long terme. Cette approche permet de réduire le nombre d'éléments que l'apprenant doit traiter simultanément. Cette stratégie de segmentation est considérée bénéfique pour l'apprentissage, notamment chez les novices puisqu'elle permet de respecter l'empan mnésique des apprenants et de réduire la charge cognitive (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

La segmentation est également utilisée pour la conception d'instructions et de documents pédagogiques dans le but de réduire la charge cognitive. Les formats d'instructions qui bénéficient de cette segmentation sont surtout des formats qui présentent des informations de nature transitoire. La particularité de ces informations est qu'elles contiennent des éléments qui disparaissent pour être remplacés par des éléments nouveaux (Paas & Sweller,

2012). Les apprenants doivent les maintenir et les traiter en mémoire de travail, tout en sélectionnant simultanément les nouvelles informations pertinentes (Wong, Marcus, Leahy & Sweller, 2012). La mémoire de travail étant limitée, la nécessité de conserver ces informations pour pouvoir les traiter peut être la cause d'une forte augmentation de la charge cognitive (Ayres & Paas, 2007; van Hooijdonk & Krahmer, 2008; Wong et al., 2009). Les formats qui contiennent des informations transitoires sont les formats animés, comme les vidéos, et les formats audio, comme les enregistrements sonores. Par contraste, les images ou les écrits statiques sont des formats permanents. Les informations sont statiques et facilement disponibles, elles peuvent par conséquent être visionnées à nouveau si besoin. La nécessité de conserver les informations en mémoire de travail est réduite, parce qu'elles sont disponibles en permanence et ne disparaissent pas, contrairement aux informations dynamiques (Paas & Sweller, 2012). Cette différence constitue un argument souvent utilisé pour expliquer le manque d'efficacité de certains formats dynamiques par rapport aux formats statiques (Marcus, Cleary, Wong & Ayres, 2013; Paas & Sweller, 2012). Certaines études ont en effet montré une inefficacité de formats dynamiques par rapport aux formats statiques (Ganier & de Vries, 2016; Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell, 2005; Schneider & Boucheix, 2004). Le traitement d'informations transitoires générerait une lourde charge cognitive extrinsèque qui pourrait nuire à l'apprentissage, contrairement aux formats statiques.

Pour limiter les effets négatifs des formats qui présentent des informations transitoires, la segmentation peut être utile. Il s'agit de découper les instructions en segments, entrecoupés de pauses, qui permettent aux apprenants de disposer du temps nécessaire pour traiter l'information présentée dans le premier segment sans avoir à traiter un flux continu d'informations. Cela permet de réduire le nombre d'éléments présents en mémoire de travail au même moment et ainsi, de réduire la charge cognitive (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). La segmentation exerce généralement un effet positif sur l'apprentissage (Biard, Cojean & Jamet, 2018), notamment pour les apprenants novices. En effet, la supériorité des formats segmentés disparaît généralement chez les apprenants ayant un niveau élevé de connaissances préalables (Spanjers, Wouters, van Gog & Merrienboer, 2011). La possibilité d'interagir avec le document pour arrêter le flux d'informations (mettre le lecteur vidéo ou audio sur pause) pourrait également rendre le format transitoire plus simple à traiter pour

les apprenants, en leur offrant la possibilité de segmenter eux-mêmes les informations quand ils en ressentent le besoin (Castro-Alonso, Ayres & Paas, 2015).

L'atomisation de l'action pourrait être un mécanisme de segmentation mis en œuvre naturellement par les apprenants en situation d'apprentissage de procédure et contraint par leur empan mnésique. Elle aurait pour but de réduire la charge cognitive liée au traitement des instructions. En effet, en situation écologique d'apprentissage de procédure, les apprenants segmentent généralement la consultation d'instructions statiques en de très nombreuses consultations alternant avec des actions (Vermersch, 1985). La tâche peut ainsi être réalisée et apprise sans conserver plusieurs éléments simultanément en mémoire de travail. Si le but de l'atomisation de l'action est réellement de réduire la charge cognitive, les apprenants devraient réaliser d'eux-mêmes une segmentation de la tâche si on leur en laisse la possibilité, aussi bien avec des instructions statiques qu'avec des instructions dynamiques.

Cette première expérience vise à vérifier la réalisation d'une atomisation de l'action lors de l'utilisation de deux formats de présentation des instructions : sous forme de vidéos ou sous forme d'images statiques. Le but de cette étude est d'examiner l'alternance entre la consultation des instructions et l'exécution des actions, quel que soit le support auquel sont confrontés les apprenants. Il s'agit de confirmer que l'atomisation de l'action est induite par la capacité limitée de la mémoire de travail des apprenants et non contrainte par le format des instructions. Dans cette perspective cette étude vise à examiner si, lors de l'apprentissage procédural, les apprenants réalisent bien une atomisation de l'action en consultant des instructions, que celles-ci soient composées d'images ou de vidéos interactives. Par ailleurs, l'étude vise à comparer les effets des deux formats de présentation sur l'apprentissage.

## **2. Hypothèses**

En vue de vérifier la validité interne du dispositif pour l'apprentissage, nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'essais devrait avoir un effet positif sur les performances. Ainsi, les durées de réalisation, de consultation des instructions et d'exécution du geste devraient diminuer au fur et à mesure des essais. Par ailleurs, les scores OSATS devraient augmenter et le nombre d'erreurs diminuer au fil des essais, suivant l'allure d'une courbe d'apprentissage. Sur le plan des mesures subjectives, l'effort perçu et la difficulté perçue devraient diminuer

au fur et à mesure des essais. Après avoir réalisé les cinq essais, les apprenants devraient avoir une confiance en soi et une compétence perçue concernant la réalisation du point de suture plus élevées qu'avant l'apprentissage.

Nous faisons l'hypothèse que l'atomisation de l'action est due aux capacités mnésiques limitées des apprenants (Vermersch, 1985) et sert à réduire la charge cognitive (Anderson, 1982). Les participants confrontés aux instructions photos comme aux instructions vidéo devraient réaliser une atomisation de l'action. Le nombre d'alternances entre l'exécution des actions et la consultation des instructions devrait être très élevé au premier essai, qui correspondrait à la phase déclarative de l'apprentissage (Anderson, 1983), puis diminuer dès le deuxième essai. Lors des premiers essais, les consultations devraient être également très courtes, correspondant aux micro-prises d'informations tout au long de la réalisation de la procédure (Vermersch, 1985).

Puisque la segmentation semble être profitable pour limiter la charge cognitive lors d'un apprentissage procédural à partir d'instructions dynamiques et que le format vidéo est doté de possibilités d'interactions et d'arrêt, nous faisons l'hypothèse que les deux formats de présentation ne déclencheront pas de différences importantes de performance, qu'il s'agisse de qualité du point ou de durée de réalisation de la procédure.

### **3. Méthode**

#### **3.1. Population**

Les participants ont été recrutés parmi les étudiants de deuxième année de médecine à la Faculté de Médecine de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest). Tous étaient volontaires pour participer à une expérience.

Sur les 75 étudiants volontaires pour participer à l'expérience, 8 participants n'ont pas été retenus parce que leurs données étaient incomplètes pour cause de problèmes techniques ou d'erreurs de manipulation (6 participants) ou parce qu'ils avaient réalisé des points de suture entre le recrutement et la passation de l'expérience (2 participants). Les 67 participants qui ont été retenus (20 hommes et 47 femmes) étaient âgés de 19,55 ans en moyenne ( $\sigma = 0,91$  ; min. = 18 ; max. = 23). Aucun n'avait réalisé de point de suture auparavant. Cinquante-huit étaient droitiers et 9 gauchers.

Les participants retenus ont été répartis en deux groupes, selon le format de présentation des instructions : 33 participants disposaient d'instructions photo et 34 participants disposaient d'instructions vidéo. Les effets du genre et de la main dominante ont été contrôlés, le groupe « instructions photo » comportant 10 hommes et 4 gauchers et le groupe « instructions vidéo » comportant 10 hommes et 5 gauchers.

### **3.2. Matériel**

Pour cette expérience, différents types de matériels ont été utilisés : (1) le matériel pédagogique, qui comprenait les instructions de réalisation et le matériel de présentation des instructions ; (2) le matériel chirurgical et de simulation ; et (3) le matériel de recueil de données.

#### **3.2.1. Matériel pédagogique**

##### **3.2.1.1. Instructions de réalisation**

Les instructions utilisées ont été réalisées spécialement pour l'ensemble des expériences. Deux vidéos ont été réalisées par une chirurgienne et un technicien audio-visuel du Centre de Simulation en Santé de Brest (CESIM). Ces vidéos détaillaient la procédure de réalisation d'un point de suture, de la présentation du matériel à la réalisation technique du point. Elles étaient filmées du point de vue de la chirurgienne qui réalisait le geste technique, la caméra placée au niveau de son épaule. La première vidéo correspondait aux prérequis. Elle présentait d'abord les instruments chirurgicaux nécessaires pour réaliser un point de suture et expliquait leur prise en main. Elle détaillait l'ouverture du sachet stérile qui contenait un fil serti d'une aiguille, ainsi que l'installation de l'aiguille sur le porte-aiguille. Elle présentait enfin les erreurs à éviter lors de la réalisation du point et donnait des conseils pour obtenir un point de suture de bonne qualité. La deuxième vidéo détaillait la procédure de réalisation du point de suture du début à la fin. Des instructions textuelles étaient intégrées à chaque vidéo pour éviter tout effet négatif de l'attention partagée (Ayres & Sweller, 2014), et correspondaient à la transcription des instructions données à voix haute par la chirurgienne lors du tournage des vidéos. Le format « instructions vidéo » correspondait à ces vidéos sous titrées. La vidéo présentant les prérequis durait 7mn 44s et celle qui présentait la procédure 2mn 22s.

De ces vidéos ont été extraites 52 photographies, illustrant les moments cruciaux de la procédure pour permettre aux participants une meilleure compréhension du geste à réaliser

(Schneider & Boucheix, 2004). Les mêmes instructions textuelles que sur le format vidéo étaient présentes sur les photos. Le format « instructions photo » correspondait à ces photos accompagnées de textes. Trente-six photos, extraites de la première vidéo, constituaient les prérequis, que les participants devaient visionner avant de commencer le geste technique et 16 photos, extraites de la dernière vidéo, correspondaient à la réalisation du point de suture et constituaient les instructions sur le geste technique.

### 3.2.1.2. Matériel de présentation

Les deux formats d'instructions étaient présentés sur un ordinateur portable équipé d'une souris. Les instructions vidéo étaient présentées à l'aide du lecteur Films et TV Windows 10 (Figure 12). Celui-ci permettait aux apprenants de mettre la vidéo en pause et de la redémarrer en cliquant sur l'icône « pause » de l'interface ou sur la barre espace du clavier. Le logiciel permettait également de se déplacer dans la vidéo en manipulant le curseur sur la barre de défilement présentée dans l'interface. Deux autres icônes étaient présents dans l'interface : une icône permettant d'avancer de 30 secondes et une autre permettant de reculer de 10 secondes. Les flèches directionnelles du clavier pouvaient être utilisées de la même façon.

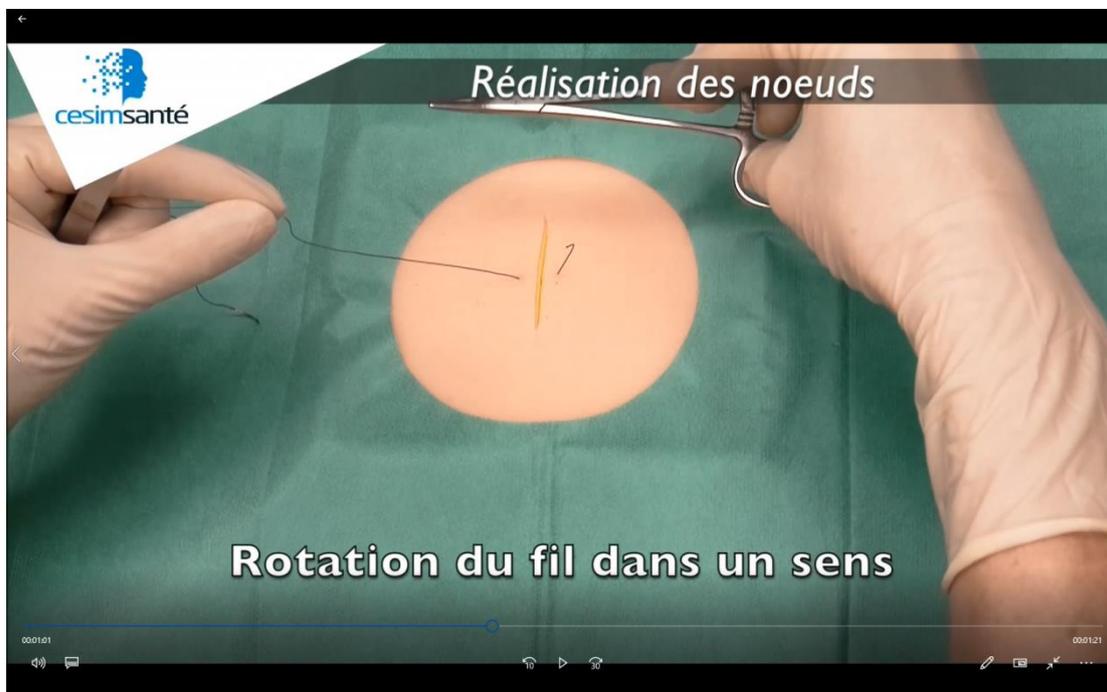


Figure 12. Document vidéo de la procédure présenté à l'aide du lecteur Films et TV Windows 10.

Les instructions photos étaient présentées dans un diaporama Adobe Reader (Figure 13). Celui-ci permettait aux apprenants d'avancer d'une diapositive en réalisant un clic gauche sur l'écran avec la souris ou avec le pad, ou en pressant le bouton flèche directionnelle droite du clavier. Le logiciel permettait également de reculer d'une diapositive en réalisant un clic droit sur l'écran avec la souris ou avec le pad, ou en pressant le bouton flèche directionnelle gauche du clavier. Les apprenants pouvaient également se déplacer rapidement dans le diaporama grâce à la molette de la souris qui permettait d'avancer en la glissant vers l'avant, ou de reculer en la glissant vers l'arrière.



Figure 13. Document photo de la procédure présenté dans Adobe Reader.

### **3.2.2. Matériel chirurgical et de simulation**

Le matériel chirurgical comprenait les instruments dont les participants avaient besoin pour réaliser les points de suture : (1) un porte-aiguille, (2) une pince à griffes, (3) une pince sans griffes, (4) des ciseaux et (5) un sachet qui contenait un fil violet de 75cm de long, serti d'une aiguille 3/8<sup>ème</sup> de cercle et de 19mm de long. Le matériel de simulation comprenait une peau synthétique qui présentait une longue plaie, sur laquelle les participants devaient réaliser les points de suture.

### **3.2.3. Matériel de recueil de données**

Afin d'évaluer l'apprentissage des participants, différents types d'outils de mesure ont été utilisés : (1) un *eye-tracker* (dispositif de suivi des mouvements oculaires), pour le recueil des

mesures chronométriques du comportement, (2) des échelles de qualité du geste technique, d'effort perçu et de difficulté perçue, et (3) des questionnaires qui portaient sur la satisfaction et la confiance en soi des participants.

#### 3.2.3.1. Mesures chronométriques

Un *eye-tracker* Pupil Labs (Kassner, Patera & Bulling, 2014) était utilisé pour recueillir les mesures chronométriques concernant le comportement des participants (Figure 14). Les mesures chronométriques étaient destinées à examiner le déroulement de l'apprentissage du geste technique et à vérifier son acquisition. Les mesures sélectionnées pour cette évaluation étaient : (1) la durée de consultation des instructions, qui désignait la durée durant laquelle la cible symbolisant le regard du participant était positionnée sur l'écran ; (2) la durée d'exécution du geste, qui désignait la durée durant laquelle la cible symbolisant le regard du participant était positionnée sur la zone de réalisation du point de suture (Figure 15) ou sur les mains de l'apprenant ; (3) la durée de réalisation de la procédure, qui correspondait à la somme des deux durées précédentes ; (4) le nombre d'alternances entre consultation et exécution ; et (5) la durée d'une consultation des instructions qui correspondait à la durée de consultation divisée par le nombre de consultations.



Figure 14. *Eye-tracker* monoculaire Pupil Labs. Tiré de : <https://docs.pupil-labs.com/>  
©PupilLabs

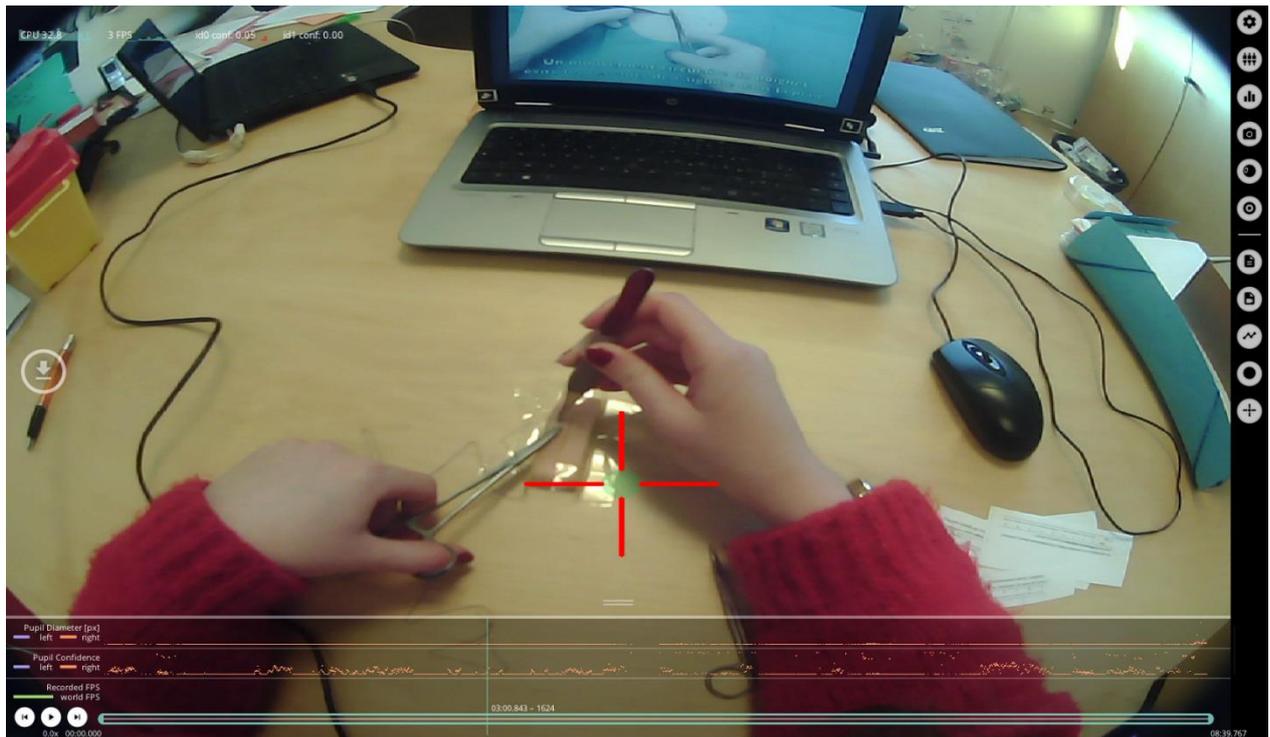


Figure 15. Exemple d'images obtenues avec l'eye-tracker. La cible rouge représente le regard du participant.

### 3.2.3.2. Questionnaires et échelles

Les autres données étaient recueillies grâce à deux échelles de notation des points de suture, à deux échelles évaluant la charge cognitive et la difficulté perçue, et à deux questionnaires administrés aux participants.

La première échelle de notation utilisée était l'échelle OSATS (*Objective Structured Assessment of Technical Skills*), conçue par Martin et al. (1997), traduite en français et adaptée pour une utilisation spécifique à l'évaluation du point de suture par Bréaud et al. (2013, Annexe 1). La seconde échelle utilisée lors de cette expérience regroupait six erreurs à ne pas commettre, présentées lors de la phase d'exposition aux prérequis (Annexe 2). Pour chaque point, elle permettait de noter les erreurs commises par le participant. Cette échelle permettait d'avoir un second retour sur la qualité de l'exécution du geste ainsi que sur la qualité de l'apprentissage.

La charge cognitive était recueillie grâce à une échelle proposée par Paas et van Merriënboer (1993), traduite par nos soins (Annexe 6). Cette première échelle mesure l'effort mental, qu'ils définissent comme la quantité de traitement cognitif allouée à l'apprentissage ou à la performance, ce qui correspond à notre définition de la charge cognitive. Une seconde

échelle, de difficulté perçue, inspirée de celle destinée à mesurer la charge cognitive était également utilisée (Annexe 7 - Échelles de difficulté perçue). Les deux échelles ne comportaient qu'un seul item, que les participants devaient noter sur 9 points. Pour l'échelle de difficulté perçue cet item était « Sur une échelle de 1 (Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous la difficulté de réalisation du point de suture ? ». Pour l'échelle de charge cognitive cet item était « Sur une échelle de 1 (Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre effort mental ressenti lors de la réalisation du point de suture ? ». Comme l'a proposé Paas (1992), la perception de l'effort fourni est considérée comme un indicateur de la charge cognitive éprouvée.

Deux questionnaires étaient également administrés aux participants, un premier avant la passation de l'expérience (Annexe 3) et un second à l'issue de celle-ci (Annexe 4). Le questionnaire pré-expérience permettait de récolter des données concernant les caractéristiques des participants (genre, âge, main dominante, pratique régulière de la couture ou d'activités manuelles) et de s'assurer que ceux-ci n'avaient jamais réalisé de points de suture (Annexe 3). Il comportait également deux items, inspirés de Smithburger, Kane-Gill, Ruby et Seybert (2012), destinés à évaluer la confiance en soi des participants sur la réalisation d'un point de suture et un item de compétence perçue. Le questionnaire post-expérience (Annexe 4), reprenait les items de confiance en soi et compétence perçue en ajoutant d'autres items concernant l'intérêt des participants pour la mise en place d'ateliers similaires dans le cursus et la satisfaction des participants, inspirés de Takayasu et al. (2006) ainsi que des items sur la facilité d'apprentissage perçue et les bénéfices perçus de l'exercice, inspirés de Smithburger, Kane-Gill, Ruby et Seybert (2012).

### **3.3. Procédure**

La passation de l'expérience était individuelle et se déroulait sur une séance d'une heure trente, au sein du service de chirurgie pédiatrique de l'hôpital Morvan (CHRU) à Brest. Les participants étaient placés devant le matériel expérimental qui comprenait le matériel chirurgical et l'ordinateur portable sur lequel ils visualisaient les instructions. La moitié des participants (34) ont été confrontés aux instructions vidéo et l'autre moitié (33) aux instructions photo.

La séance était découpée en 7 phases. Tout d'abord le participant complétait le premier questionnaire, destiné à recueillir les données socio-démographiques et celles concernant la

confiance en soi dans la réalisation du point de suture. Venaient ensuite quatre phases : (1) une phase de démonstration, (2) une phase de calibration de l'*eye-tracker*, (3) une phase d'exposition aux prérequis qui servait également de phase de familiarisation avec le dispositif de présentation des instructions, puis (4) une phase expérimentale correspondant à la réalisation des points de suture. Enfin les participants complétaient le second questionnaire et un débriefing était réalisé avec eux.

La phase de démonstration permettait à l'expérimentateur de présenter le déroulement et les consignes de l'expérience, d'expliquer comment consulter les instructions selon chaque format de présentation, et de présenter le fonctionnement de l'*eye-tracker*.

La phase de calibration suivait ensuite pour adapter les réglages de l'*eye-tracker* aux caractéristiques du participant. Durant cette phase, l'expérimentateur installait l'*eye-tracker* sur la tête du participant et s'assurait qu'il était bien positionné. Le participant devait ensuite fixer des cibles apparaissant sur l'écran de l'ordinateur pour calibrer les capteurs de l'*eye-tracker*.

Durant la phase d'exposition aux prérequis, les participants pouvaient se familiariser avec la consultation des informations. Ils prenaient également connaissance de la partie des informations qui comprenait la présentation du matériel, l'installation de l'aiguille sur le porte-aiguille et les conseils concernant les erreurs à éviter. Les participants pouvaient poser autant de questions qu'ils voulaient, manipuler les instruments chirurgicaux et visualiser les informations autant de fois qu'ils le souhaitaient. Ils étaient également informés qu'ils ne pourraient plus visualiser ces informations une fois la phase suivante entamée.

Après la phase d'exposition aux prérequis, débutait la phase expérimentale proprement dite. Ici, chaque participant devait effectuer 5 points de suture en suivant les instructions présentées soit au format vidéo, soit au format photo. L'expérimentateur démarrait l'enregistrement de l'*eye-tracker* au début de chaque essai et l'arrêtait lorsque le participant avait coupé le fil du point de suture (dernière étape de la procédure). Durant chaque essai, l'expérimentateur observait l'ensemble des gestes réalisés par le participant et évaluait la qualité du point de suture à l'aide de l'échelle OSATS et de l'échelle des erreurs. À la fin de chaque essai le participant complétait l'échelle de difficulté perçue et l'échelle de charge cognitive.

À l'issue de la réalisation des 5 points de suture, les participants devaient compléter le questionnaire post-expérience puis un débriefing était réalisé. Lors de celui-ci l'expérimentateur fournissait des informations spécifiques sur leur réalisation du point de suture et leurs difficultés éventuelles. Il pouvait également proposer des pistes d'amélioration et devait prendre leur avis sur l'expérience et répondre à leurs questions.

## **4. Résultats**

L'analyse des résultats porte d'abord sur les mesures comportementales (durée de réalisation de la procédure, durée de consultation des instructions et durée d'exécution du geste), et les mesures de qualité (nombre d'erreurs et score OSATS) pour les cinq essais. Elle se concentre ensuite sur les mesures comportementales fines (durée de consultation des instructions et durée d'exécution du geste). Elle aborde les évaluations subjectives sur la confiance en soi, la compétence, l'intérêt, la facilité et les bénéfices de l'apprentissage perçus par les étudiants avant et après la réalisation de l'expérience. Enfin, la suite de l'analyse porte sur l'évaluation de la charge cognitive et de la difficulté perçues sur les cinq essais.

Toutes les mesures chronométriques sont présentées en minutes et centièmes, sauf la durée de consultation d'une instruction qui est présentée en secondes.

Les données brutes récoltées lors de cette expérience sont disponibles en ligne (Jannin, 2020a).

### **4.1. Durée de réalisation de la procédure**

#### **4.1.1. Effet du nombre d'essais**

Les mesures chronométriques liées à la durée de réalisation de la procédure présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage : la durée totale de réalisation est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5. Les étudiants mettent en moyenne 9,61mn ( $\sigma = 3,52$ ) pour réaliser la procédure la première fois et 4,30mn ( $\sigma = 2,06$ ) la deuxième fois. La troisième réalisation de la procédure prend en moyenne 3,24mn ( $\sigma = 1,27$ ). Pour les deux derniers essais, la durée de réalisation moyenne se stabilise avec une moyenne de 2,93mn ( $\sigma = 1,23$ ) au quatrième et de 2,63mn ( $\sigma = 1,01$ ) au cinquième essai.

Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure (Figure 16) :  $F(4,260) = 218,91$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,771$ .

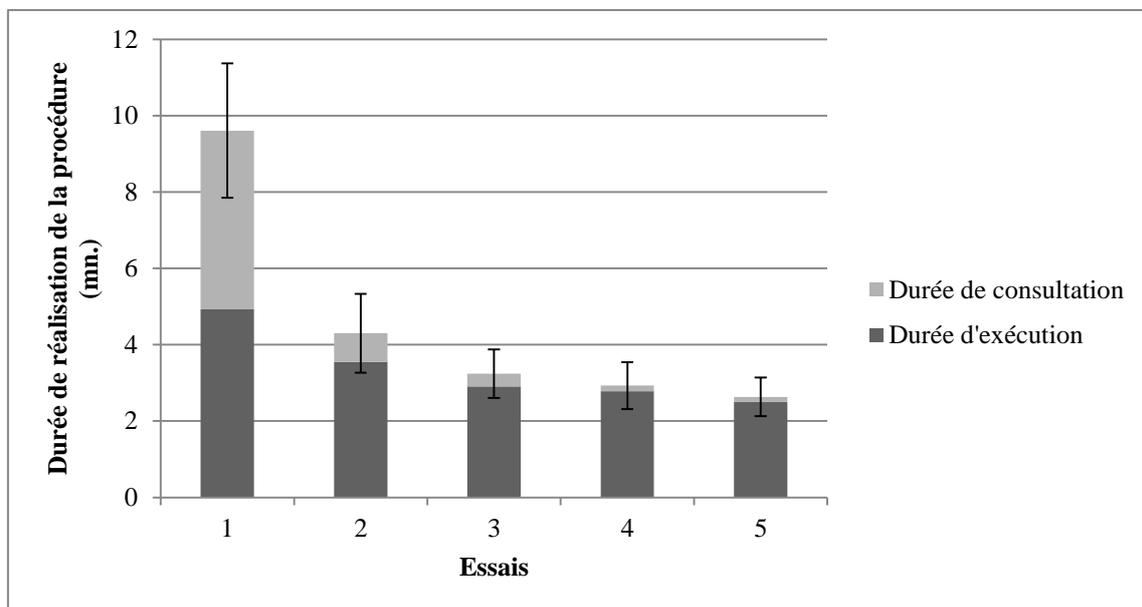


Figure 16. Durée de réalisation pour les 5 essais (cumulant les durées de consultation des instructions et d'exécution). Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation.

La diminution de la durée de réalisation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. La durée de réalisation diminue de 5,31mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 206,54$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 1,06mn :  $F(1,65) = 29,27$ ;  $p < .001$ . La différence est faible mais significative entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,31mn :  $F(1,65) = 4,78$ ;  $p = .032$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une diminution de 0,30mn :  $F(1,65) = 4,93$ ;  $p = .030$ .

#### 4.1.2. Interaction entre le format des instructions et le nombre d'essais

Au premier essai, les participants consultant les instructions photo, mettent plus de temps pour réaliser la procédure que ceux consultant les instructions vidéo. A partir du deuxième essai la durée de réalisation est similaire pour les participants des deux groupes (Figure 17). Les résultats montrent une interaction significative entre le format des instructions et le nombre d'essais :  $F(4,260) = 5,78$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,082$ .

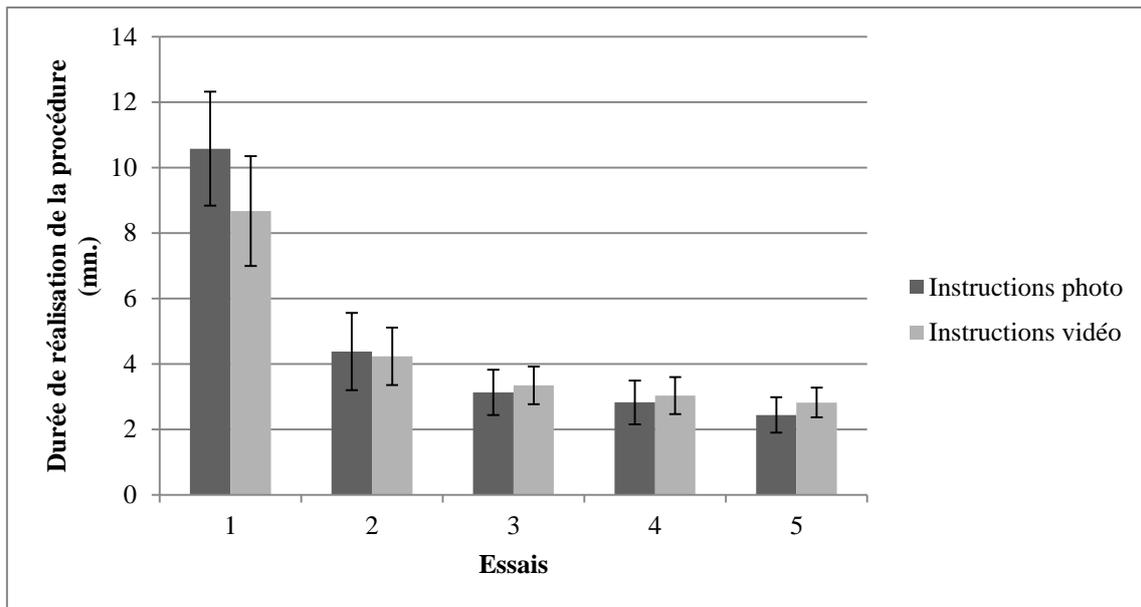


Figure 17. Durée de réalisation de la procédure pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.

Une analyse par contrastes confirme ces résultats. Les participants consultant les instructions photo prennent significativement plus de temps pour réaliser la procédure au premier essai que les participants consultant les instructions vidéo. Au premier essai, les participants confrontés aux instructions photos mettent en moyenne 10,58mn pour réaliser la procédure contre 8,67mn pour les participants confrontés aux instructions vidéo :  $F(1,65) = 5,21$ ;  $p = .026$ .

La différence n'est pas significative sur les essais suivants.

## 4.2. Durée de consultation des instructions

### 4.2.1. Effet du nombre d'essais

La durée de consultation des instructions diminue au fil des essais (Figure 17). Les participants mettent en moyenne 4,68mn ( $\sigma = 1,95$ ) au premier essai et 0,75mn ( $\sigma = 0,79$ ) au deuxième essai. Pour les trois derniers essais les participants ne consultent presque pas les instructions, passant de 0,34mn ( $\sigma = 0,51$ ) pour le troisième essai à 0,14mn ( $\sigma = 0,31$ ) au quatrième puis 0,12mn ( $\sigma = 0,38$ ) au cinquième essai. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de consultation des instructions procédurales :  $F(4,260) = 310,66$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0,827$ .

La diminution de la durée de consultation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance

significatives de l'essai 1 à l'essai 4. La durée de consultation diminue de 3,93mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 296,03$ ;  $p < .001$ . La différence est moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,41mn :  $F(1,65) = 31,98$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,19mn :  $F(1,65) = 8,69$ ;  $p = .004$ . La différence n'est plus significative entre l'essai 4 et l'essai 5, la consultation étant anecdotique.

#### 4.2.2. Interaction entre le format des instructions et le nombre d'essais

Au premier essai les instructions photos sont consultées plus longtemps que les instructions vidéo, puis à partir du deuxième essai les instructions vidéo sont consultées plus longtemps que les instructions photos (Figure 18). L'interaction entre le format des instructions et le nombre d'essais est significative :  $F(4,260) = 5,80$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,082$ .

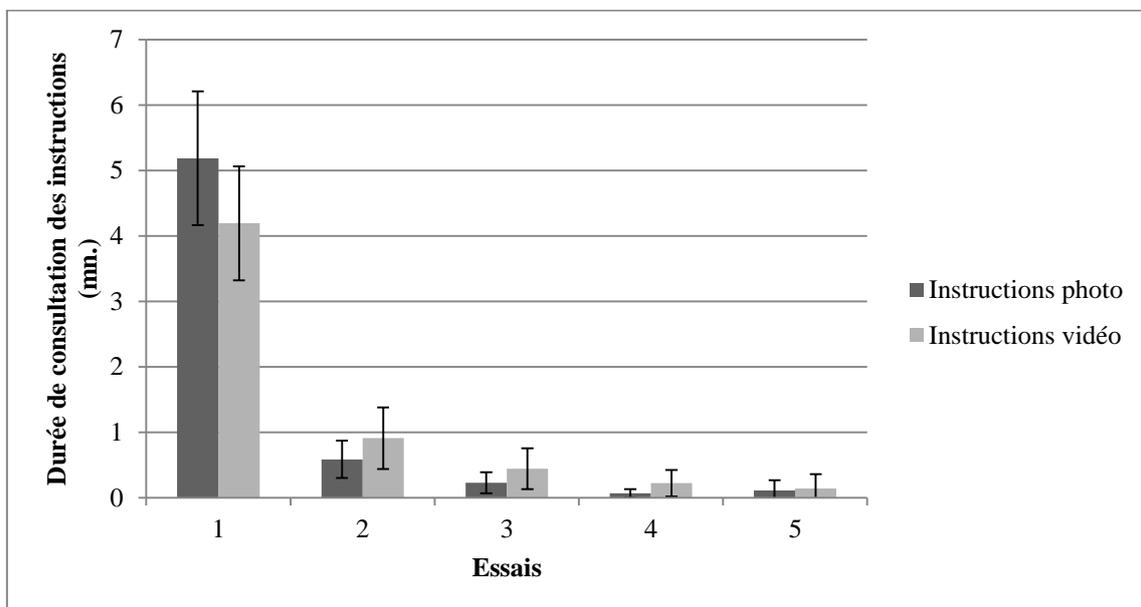


Figure 18. Durée de consultation des instructions pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.

Les analyses par contrastes confirment ces résultats. Les participants confrontés aux instructions photos consultent significativement plus longtemps les instructions au premier essai que les participants confrontés aux instructions vidéo. Ces résultats s'inversent pour le quatrième essai. Au premier essai, les participants consultent les instructions photo 5,19mn en moyenne contre 4,19mn pour les participants qui consultent les instructions vidéo :  $F(1,65) = 4,60$ ;  $p = .036$ . Au quatrième essai, les participants consultent les instructions photo 0,06mn en moyenne contre 0,22mn pour les participants qui consultent les instructions vidéo :  $F(1,65) = 4,47$ ;  $p = .038$ .

La différence n'est pas significative sur les autres essais.

### **4.3. Durée d'exécution du geste**

#### **4.3.1. Effet du nombre d'essais**

La durée d'exécution du geste diminue au fil des essais (Figure 17). Les participants mettent en moyenne 4,93mn ( $\sigma = 2,28$ ) pour réaliser le premier point de suture et 3,55mn ( $\sigma = 1,72$ ) la deuxième fois. La troisième exécution du geste demande en moyenne 2,90mn ( $\sigma = 1,11$ ). Pour les deux derniers essais, la durée d'exécution moyenne continue à diminuer légèrement avec une moyenne de 2,79mn ( $\sigma = 1,08$ ) au le quatrième et de 2,51mn ( $\sigma = 0,88$ ) au le cinquième essai. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée d'exécution du geste:  $F(4,260) = 50,17; p < .001; \eta^2=0,436$ .

La diminution de la durée d'exécution et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. La durée d'exécution diminue de 1,38mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 27,99; p < .001$ . La diminution est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,65mn :  $F(1,65) = 14,99; p < .001$ . La différence entre l'essai 3 et l'essai 4 n'est pas significative (avec une diminution de 0,12mn), mais elle l'est entre l'essai 4 et 5 :  $F(1,65) = 6,91; p = .011$  (avec une diminution de 0,28mn).

#### **4.3.2. Interaction entre le format des instructions et le nombre d'essais**

Les participants qui consultent les instructions photo ont une durée d'exécution du geste plus élevée aux premier et deuxième essais que les participants qui consultent les instructions vidéo. Sur les quatrième et cinquième essais, la tendance s'inverse (Figure 19). Les résultats montrent une interaction significative entre le format des instructions et le nombre d'essais :  $F(4,260) = 3,28; p = .012; \eta^2=0,048$ .

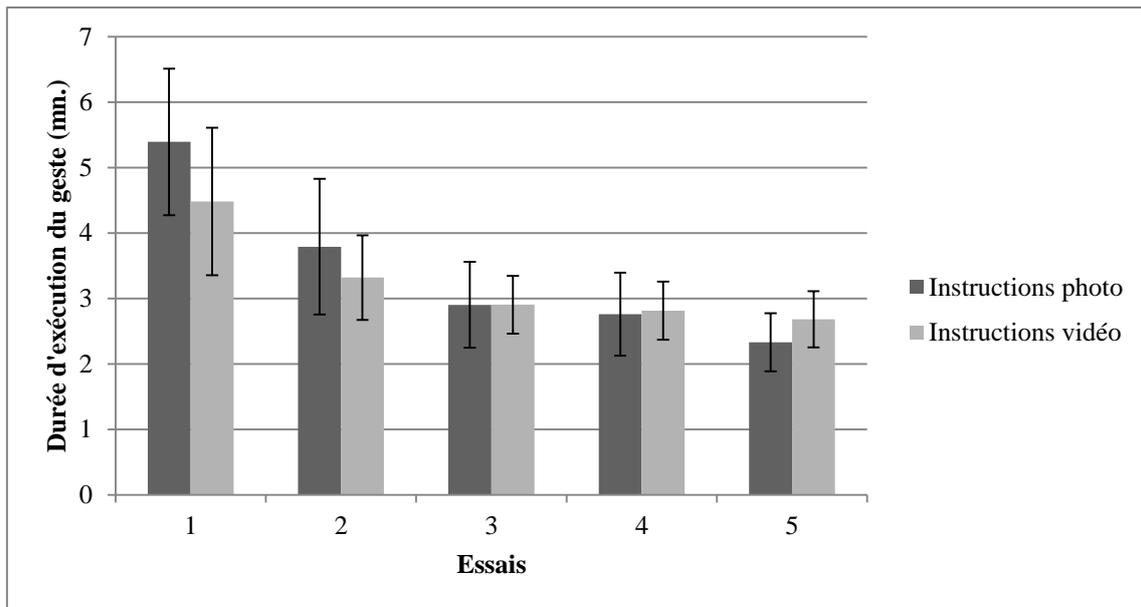


Figure 19. Durée d'exécution du geste pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.

Les comparaisons analytiques par paires ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes sur aucun des essais.

Une analyse par contrastes montre une différence significative de la durée de réalisation entre les deux groupes entre les deux premiers essais (1 et 2) et les deux derniers essais (4 et 5) :  $F(1,65) = 7,98; p < .01$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

#### 4.4. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions

##### *Effet du nombre d'essais*

Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5 (Figure 20). Les étudiants alternent en moyenne 33,28 fois ( $\sigma = 16,13$ ) entre la consultation et l'exécution au premier essai et 7,12 fois ( $\sigma = 4$ ) au deuxième. Au troisième essai les étudiants alternent 2,84 fois ( $\sigma = 1,94$ ). Entre les deux derniers essais, le nombre d'alternances se stabilise avec une moyenne de 1,39 fois ( $\sigma = 1,01$ ) pour le quatrième et de 0,91 ( $\sigma = 0,61$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure :  $F(4,260) = 162,61; p < .001; \eta^2=0,714$ .

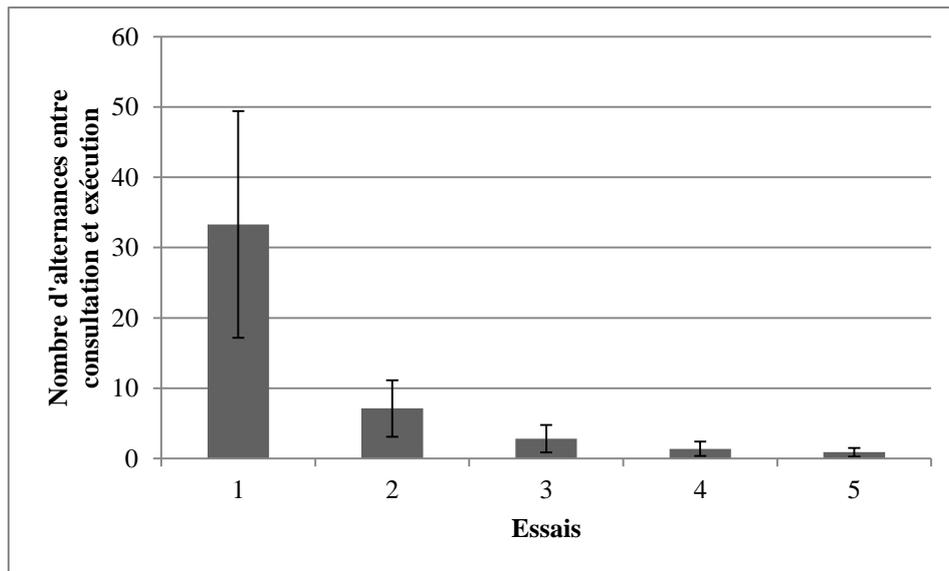


Figure 20. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'alternances et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences significatives de l'essai 1 à l'essai 4. Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste diminue de 26,16 de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 150,88$ ;  $p < .001$ . Cette diminution est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 4,28 :  $F(1,65) = 32,55$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 1,44 :  $F(1,65) = 10,09$ ;  $p = .002$ . La différence (0,48) entre l'essai 4 et l'essai 5 n'est pas significative, les apprenants ne consultant presque plus les instructions.

Aucun autre effet n'est significatif.

#### 4.5. Durée d'une consultation des instructions

##### *Effet du nombre d'essais*

La durée d'une consultation est très courte et diminue progressivement au fil des essais. La durée moyenne d'une consultation est de 11,52s ( $\sigma = 9,90$ ) au premier essai et de 6,13s ( $\sigma = 8,03$ ) au deuxième. Au troisième essai, la durée d'une consultation est de 4,94s ( $\sigma = 8,73$ ). Entre les deux derniers essais la durée d'une consultation augmente un peu avec une moyenne de 3,53s ( $\sigma = 10,03$ ) pour le quatrième et de 4,45s ( $\sigma = 18,99$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure :  $F(4,260) = 5,39$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,077$ . Des comparaisons par paires montrent une différence significative entre le premier et le deuxième essai. La durée

d'une consultation diminue de 5,39s de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 23,25$ ;  $p < .001$ . La différence entre les autres essais n'est pas significative.

Aucun autre effet n'est significatif.

#### 4.6. Nombre d'erreurs

Des analyses de variance (ANOVA) ont été conduites et n'ont révélé aucune différence significative sur le nombre d'erreurs. Que ce soit selon le nombre d'essais ou selon le format des instructions.

#### 4.7. Score OSATS

##### *Effet du nombre d'essais*

La qualité des points de suture augmente au fil des essais (Figure 21). Les participants obtiennent un score OSATS moyen de 14,91 ( $\sigma = 2,58$ ) au premier essai et de 20,12 ( $\sigma = 4,60$ ) au deuxième. Les scores continuent d'augmenter pour les trois derniers essais, passant de 23,75 points ( $\sigma = 4,88$ ) pour le troisième essai, à 25,97 points ( $\sigma = 4,48$ ) au quatrième et 28,15 points ( $\sigma = 3,79$ ) au cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le score à l'échelle OSATS :  $F(4,260) = 250,51$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,794$ .

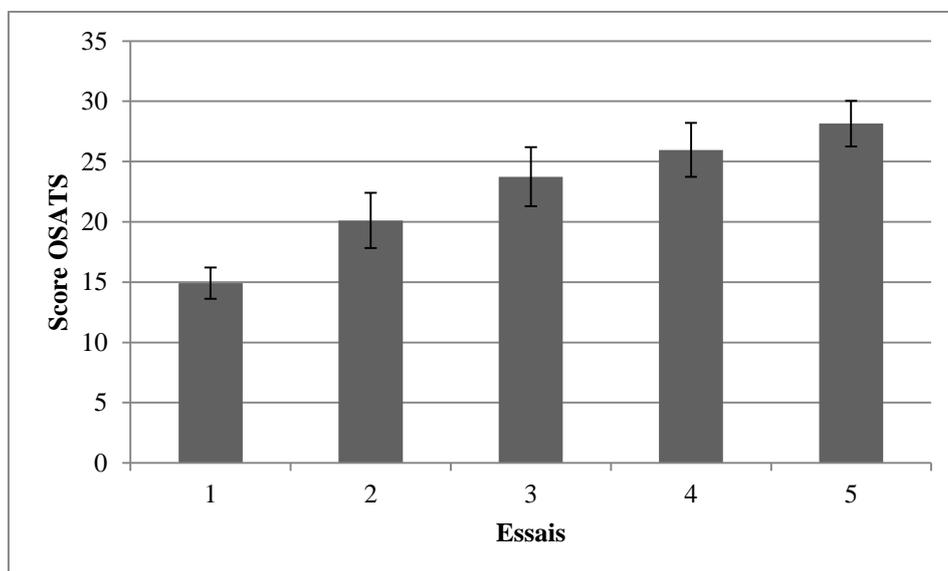


Figure 21. Scores OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

L'amélioration de la qualité des points de suture a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. Le score OSATS augmente de 5,21 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 109,99$ ;  $p < .001$ ; et de 3,63 points entre l'essai 2 et l'essai 3 :  $F(1,65) = 63,64$ ;  $p < .001$ .

L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une augmentation de 2,22 points :  $F(1,65) = 30,47$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une augmentation de 2,18 points :  $F(1,65) = 43,19$ ;  $p < .001$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

#### **4.8. Évaluations subjectives de l'apprentissage**

##### **4.8.1. Questionnaire**

Les participants notent leur confiance en soi pour la réalisation d'un point de suture dans une situation simulée de façon significativement plus élevée après l'entraînement (4,18 ;  $\sigma = 0,85$ ) qu'avant (3,34 ;  $\sigma = 1,14$ ) :  $F(1,65) = 34,95$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,350$ . Ils notent également de façon plus élevée leur confiance en soi dans une situation réelle après (2,87;  $\sigma = 0,09$ ) qu'avant (1,94 ;  $\sigma = 1,03$ ) :  $F(1,65) = 55,99$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,463$ ; ainsi que leur compétence perçue après (3,22 ;  $\sigma = 0,76$ ) qu'avant (2,45 ;  $\sigma = 0,93$ ) :  $F(1,65) = 41,69$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,398$ . Sur les trois items qui évaluent l'intérêt perçu de l'exercice la moyenne des scores est de 4,96 ( $\sigma = 0,93$ ) sur 5. La facilité d'apprentissage perçue est notée 3,12 ( $\sigma = 0,82$ ) sur 5 en moyenne. Sur les deux items qui concernent les bénéfices perçus de l'apprentissage la moyenne des scores est de 4,81 ( $\sigma = 0,23$ ) sur 5.

Aucun autre effet n'est significatif.

##### **4.8.2. Charge cognitive perçue**

La charge cognitive perçue diminue au fil des essais. Les participants notent leur charge cognitive 6,61 sur 9 ( $\sigma = 1,35$ ) au premier point de suture et 5,28 ( $\sigma = 1,48$ ) au deuxième. Au troisième essai, ils attribuent le score de 4,39 ( $\sigma = 1,47$ ). Entre les deux derniers essais, la charge cognitive continue à diminuer légèrement avec une moyenne de 3,94 ( $\sigma = 1,41$ ) pour le quatrième et de 3,61 ( $\sigma = 1,44$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la charge cognitive perçue :  $F(4,260) = 158,98$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,710$ .

La diminution de la charge cognitive perçue a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent une diminution significative de l'essai 1 à l'essai 5. La charge cognitive diminue de 1,33 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 115,07$ ;  $p < .001$  ; et de 0,89 points entre l'essai 2 et l'essai 3 :  $F(1,65) = 55,13$ ;  $p < .001$ . La diminution est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,45 points :  $F$

(1,65) = 18,05;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une diminution de 0,33 points :  $F(1,65) = 15,28$ ;  $p < .001$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

#### **4.8.3. Difficulté perçue**

La difficulté perçue diminue au fil des essais. Les participants notent la difficulté perçue 6,57 sur 9 ( $\sigma = 1,47$ ) au premier point de suture et 5,33 ( $\sigma = 1,67$ ) au deuxième. Au troisième essai, ils notent la difficulté 4,55 ( $\sigma = 1,52$ ). Entre les deux derniers essais, la difficulté perçue continue à diminuer légèrement avec une moyenne de 4,07 ( $\sigma = 1,63$ ) pour le quatrième et de 3,76 ( $\sigma = 1,61$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la difficulté perçue :  $F(4,260) = 126,73$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,661$ .

La diminution de la difficulté perçue a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent une diminution significative de l'essai 1 à l'essai 5. La difficulté diminue de 1,24 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,65) = 115,07$ ;  $p < .001$  ; et de 0,78 points entre l'essai 2 et l'essai 3 :  $F(1,65) = 55,13$ ;  $p < .001$ . La diminution est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,48 points :  $F(1,65) = 18,05$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une diminution de 0,31 points :  $F(1,65) = 15,28$ ;  $p < .001$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

## **5. Discussion**

Cette étude avait pour objectif de confirmer que l'atomisation de l'action n'est pas contrainte par le format des instructions. Le but principal de cette étude était de déterminer si lors de l'apprentissage procédural, le phénomène d'atomisation de l'action, rencontré en situation d'apprentissage avec des instructions discrètes sous forme de texte (Vermersch, 1985), était également réalisé par les apprenants confrontés à un format d'instructions statique avec texte et image et par les apprenants confrontés à un format vidéo. De plus, il s'agissait de comparer les effets des deux formats de présentation sur l'apprentissage. Par ailleurs, cette étude avait comme objectif de valider la situation d'apprentissage procédural par la simulation en *e-learning*. Pour cela, la discussion portera sur l'amélioration des performances, les courbes d'apprentissage et le passage d'une phase déclarative de

l'apprentissage à une phase de compilation des connaissances. Trois résultats principaux ont été observés : le premier concerne la validité interne de la situation d'apprentissage du geste technique par simulation (Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017), le deuxième se rapporte aux effets du format de présentation sur le comportement d'atomisation et le troisième concerne l'interaction de la répétition de la procédure et du format de présentation.

### **5.1. Évaluation de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure**

Pour cette étude, il avait été fait l'hypothèse que le nombre de répétitions aurait un effet positif sur l'apprentissage. Les résultats font apparaître que les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage. Celle-ci est caractérisée par la diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste et de la durée totale de réalisation de la tâche, ainsi que l'amélioration de la qualité des points de suture. Cette amélioration des performances pourrait correspondre au passage d'une phase déclarative de l'apprentissage procédural, qui servirait à l'interprétation des connaissances déclaratives délivrées par les instructions, à une phase de compilation des connaissances, qui permet l'accélération de l'exécution de la procédure (Anderson, 1982). La réduction du recours aux instructions lors de la deuxième phase de l'apprentissage procédural est visible. En effet, la durée de consultation des instructions diminue fortement entre le premier et le deuxième essai. Selon Anderson (1983), la qualité de réalisation de la procédure serait également améliorée durant la phase de compilation des connaissances. Les résultats sont cohérents avec cette proposition car la durée d'exécution du geste diminue au fur et à mesure des essais pour l'ensemble des participants. La progression des performances est également perceptible à travers l'augmentation de la qualité d'exécution du geste. En effet, le passage de la première phase, dédiée à l'interprétation des informations contenues dans les instructions, à la deuxième phase, permettant un meilleur traitement de ces informations, rend possible l'amélioration de la qualité d'exécution. Cette amélioration est visible dans nos résultats à travers l'augmentation du score OSATS. Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec l'idée d'une évolution d'une première phase qui demande un effort cognitif important vers une phase plus automatisée. Elle se caractérise par une durée de réalisation de la procédure plus longue ainsi qu'une qualité d'exécution moindre dans les premiers essais, par rapport aux essais suivants (Anderson, 1983).

Par ailleurs après la réalisation de la simulation, la confiance en soi des participants, aussi bien en situation simulée qu'en situation réelle, augmente. Leur compétence perçue augmente également. De plus, la difficulté perçue diminue significativement au fil des essais, montrant que les apprenants ont conscience de l'amélioration de leurs performances. Par ailleurs, la charge cognitive perçue diminue également au cours des essais, conformément à l'idée d'un passage d'une phase déclarative à une phase de compilation des connaissances (Anderson, 1982; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013).

## **5.2. Atomisation de l'action**

Pour cette étude il avait été supposé que les participants réalisent une atomisation de l'action, quel que soit le type d'instructions auquel ils étaient confrontés (photos ou vidéos). Nous avons également fait l'hypothèse que l'atomisation de l'action est due aux capacités mnésiques limitées des apprenants et sert à réduire la charge cognitive.

Les résultats de cette étude ne font apparaître aucune différence, ni sur le nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions, ni sur la durée de consultation d'une instruction entre les deux conditions expérimentales. Les participants alternent de très nombreuses fois la consultation des instructions avec l'exécution des actions sur le premier essai. Le nombre d'alternances diminue fortement sur les essais suivants. Les durées de consultation sont assez courtes durant tous les essais. Les participants, confrontés aux instructions photos ou vidéos, consultent très souvent les instructions entre chaque action, et de façon brève à chaque fois. Cette façon de réaliser la procédure s'apparente à ce que Vermersch (1985) décrit comme l'atomisation de l'action. L'atomisation de l'action, dont le rôle serait de libérer de l'espace en mémoire de travail et de faciliter l'apprentissage ne serait nécessaire que sur la première (voire les premières) phase(s) de l'apprentissage : la phase déclarative (Anderson, 1983), qui repose fortement sur la mémoire de travail. Dans cette expérience, la majorité des participants n'auraient besoin de réaliser cette atomisation de l'action que durant le premier essai. En effet, le nombre d'alternances diminue fortement dès le deuxième essai. Cela signifie que les actions élémentaires (Vermersch, 1985) qu'ils peuvent exécuter sont plus longues que lors du premier essai. Il est donc possible de voir, grâce au nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions, le passage d'une phase déclarative de l'apprentissage procédural, caractérisée par un recours systématique aux instructions, à une

phase de compilation des connaissances. En effet, les apprenants alternent en moyenne 33,28 fois entre les instructions et l'exécution sur le premier essai, alors que les documents qui présentent la procédure ne comportent que 17 étapes (17 images pour le format photo et 17 phrases pour le format vidéo). Ils consultent donc plusieurs fois chaque instruction. Lors des essais suivants, le nombre d'alternances est plus faible que le nombre d'étapes. Cette diminution pourrait correspondre à la phase de compilation des connaissances. Cette deuxième phase de l'apprentissage procédural permettrait également d'améliorer la vitesse et la qualité de réalisation de la procédure (Anderson, 1983). L'augmentation des performances des participants, représentée par les courbes d'apprentissage, est cohérente avec cette proposition. Le recours systématique aux instructions et l'atomisation de l'action, montré par le nombre élevé d'alternances lors du premier essai, caractérise bien la phase déclarative (Anderson, 2013). Dans les expériences suivantes, nous essayerons de confirmer ce résultat en vérifiant si l'augmentation des performances des participants se déroule bien en parallèle d'une diminution de l'atomisation de l'action, qui caractériserait alors la phase déclarative.

Conformément à notre hypothèse, les participants, qu'ils soient confrontés à des instructions photo ou vidéos, semblent réaliser une atomisation de l'action au début de l'apprentissage, lors de la phase déclarative. Celle-ci ne semble donc pas contrainte par la segmentation inhérente au format statique. Avec le format statique, le nombre d'alternances plus élevé que le nombre d'images montre que les apprenants ne segmentent pas leur consultation selon la segmentation prévue. Les participants confrontés au format vidéo réalisent également une atomisation de l'action alors que la vidéo est par nature transitoire. Cependant, l'atomisation de l'action pourrait être contrainte par les instructions textuelles présentes dans les deux formats. Selon Boekelder et Steehouder (1998a), la séparation graphique des instructions texte pourrait influencer le passage de la lecture à l'action. Dans une expérience ils ont comparé l'alternance entre consultation des instructions et exécution des actions sur 3 formats d'instructions différents : (1) des instructions en prose, (2) des instructions séparant chaque étape de la procédure, et (3) des instructions séparées sans respecter les étapes de la procédure. Les résultats ont montré que, lorsque des instructions texte étaient séparées par un retour à la ligne, les participants avaient tendance à passer à l'action, et cela même si cette séparation intervenait au milieu

d'une étape. L'atomisation de l'action réalisée par les participants de notre étude pourrait donc être due à la séparation entre les phrases de texte, qui étaient affichées les unes après les autres sur la vidéo. Cependant, Boekelder et Steehouder (1998a) ont également noté que lorsqu'un paragraphe de texte contenait plus d'une action, les participants avaient tendance à lire tout le paragraphe avant d'agir. Ce processus est tout à fait différent de celui que nous avons remarqué. En effet, l'atomisation de l'action, réalisée par les participants lors de la phase déclarative de l'apprentissage, est caractérisée par un découpage beaucoup plus fin que celui proposé par les instructions. Le nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions est plus élevé que le nombre d'instructions texte affichées à l'écran tout au long de la vidéo et des photos. L'effet de la séparation des instructions remarqué par Boekelder et Steehouder (1998a) pourrait être dû au fait que les apprenants devaient lire les instructions à haute voix et avaient interdiction de revenir en arrière dans les instructions, ce qui est pourtant souvent réalisé lors de l'utilisation d'instructions procédurales (Vermersch, 1985). Cette interdiction a pu réduire le nombre d'alternances réalisées entre consultation et exécution, et donc minimiser l'atomisation de l'action. Puisque nos résultats montrent que les participants réalisent une atomisation de l'action beaucoup plus fine que le découpage proposé par les instructions texte, elle ne semble pas contrainte par le format des instructions. Par ailleurs, puisque l'atomisation de l'action caractérise la phase déclarative, durant laquelle la charge cognitive est très élevée à cause du traitement des instructions sous forme déclarative et de leur transposition en connaissances procédurales (Anderson, 2013), on peut envisager comme Vermersch (1985) que cette atomisation est contrainte par l'empan de la mémoire de travail. Celle-ci pourrait donc servir à gérer la charge cognitive en mémoire de travail.

### **5.3. Répétitions de la procédure**

Pour cette expérience, nous n'avions pas supposé de différences de performance entre les participants confrontés aux instructions photos ou vidéo, car des études ont montré que l'ajout d'interaction pouvait améliorer l'apprentissage avec le format vidéo (Boucheix & Guignard, 2005; Mayer & Chandler, 2001). De plus, la possibilité de mettre la vidéo sur pause permet de diminuer l'effet transitoire des instructions. Ces deux éléments permettaient de supposer une équivalence des deux formats de présentation. Cependant, Ganier et de Vries (2016) ont montré que le nombre de répétitions de la procédure pouvait interagir avec le format de présentation des instructions.

Dans notre expérience, les résultats font apparaître une interaction significative entre le nombre d'essais et le format de présentation des instructions sur la durée de réalisation de la procédure, sur la durée de consultation des instructions, et sur la durée d'exécution du geste. En effet, les participants qui consultent les instructions photo mettent plus de temps pour réaliser la procédure au premier essai, mais ont une durée de réalisation similaire aux participants qui consultent les instructions vidéo pour les quatre essais suivants. Concernant la durée de consultation des instructions, au premier essai, les participants confrontés aux instructions photo, consultent les instructions plus longtemps que les participants confrontés aux instructions vidéo. Cette tendance s'inverse pour les quatre essais suivants, ce qui confirme les résultats de Ganier et de Vries (2016). Concernant la durée d'exécution du geste, les résultats font apparaître que pour les deux premiers essais, le groupe vidéo prend moins de temps que le groupe photo. Les résultats s'inversent sur les quatrièmes et cinquièmes essais : le groupe confronté aux instructions photo prend moins de temps pour exécuter le geste que le groupe confronté aux instructions vidéo. Ces résultats font apparaître que la répétition est susceptible d'avoir une influence sur l'effet des variables étudiées.

Cette différence dans les effets des variables selon le moment de l'apprentissage pourrait être liée à l'évolution entre les phases de l'apprentissage procédural (Anderson, 2013). Au début de l'apprentissage, sur ce qui pourrait correspondre à la phase déclarative, les participants confrontés au format vidéo réalisent la procédure plus rapidement que les participants confrontés au format photo. Aux essais suivants, qui pourraient correspondre à la phase de compilation des connaissances, la tendance s'inverse et les participants qui utilisent les instructions photo sont plus rapides. L'effet du format de présentation varie durant la répétition, et cela pourrait être dû aux différents processus à l'œuvre lors des phases de l'apprentissage procédural.

De nombreuses études qui portent sur l'apprentissage de procédures ne s'appuient que sur un seul essai, et ne prennent donc pas en compte l'effet de la répétition sur les variables (Ayres, Marcus, Chan & Qiand, 2009; Marcus, Cleary, Wong & Ayres, 2013; Michas & Berry 2000). Pourtant, de nombreuses répétitions sont nécessaires pour acquérir une connaissance procédurale (Anderson, 2013; Boucheix, 2015; Mayer, 2014). Lorsque seul le premier essai est pris en compte, il est possible d'obtenir des résultats très différents de ce

qu'ils auraient été lors de l'étude de l'apprentissage en tant que processus. Il est par conséquent nécessaire de prendre en compte plusieurs répétitions de la tâche lorsque l'on étudie l'apprentissage procédural, pour avoir une vision plus complète de l'effet des variables étudiées sur l'apprentissage.

## **6. Conclusion**

Cette première expérience avait pour objectif principal d'étudier la façon dont les apprenants alternent entre la consultation des instructions et l'exécution des actions en situation d'apprentissage médiatisée par des instructions. Elle avait également comme objectif de vérifier que l'atomisation de l'action, montrée par Vermersch (1985) avec des instructions texte statiques, n'était pas contrainte par l'utilisation d'instructions discrètes. Dans une étude sur le suivi d'instructions pour la cuisine, Vermersch (1985) a montré que les apprenants découpaient la consultation des instructions en de nombreuses courtes consultations entrecoupées d'actions. Il a appelé ce phénomène atomisation de l'action. Ce phénomène aurait pour utilité de faciliter le traitement des instructions et leur conversion en actions.

Dans un premier temps, nous avons validé la situation d'apprentissage procédural par la simulation en *e-learning*. Les résultats montrent, qu'avec la pratique, les apprenants améliorent leurs performances que ce soit en termes de vitesse ou de qualité de réalisation. Leurs performances suivent l'allure d'une courbe d'apprentissage. L'étude des résultats semble faire apparaître une transition d'une phase déclarative, reposant sur les instructions, à une phase de compilation des connaissances, permettant une amélioration de la vitesse et de la qualité d'exécution (Anderson, 1983). Selon Anderson (2013), lors de la première phase d'un apprentissage procédural (la phase déclarative) la réalisation serait lente et induirait une charge cognitive importante à cause de la conversion des instructions (traitées sous forme de connaissances déclaratives) en connaissances procédurales. L'atomisation de l'action pourrait correspondre à une stratégie menée par les apprenants pour réduire la charge cognitive induite par ce traitement (Vermersch, 1985). Notre étude comparait un groupe qui disposait d'instructions statiques composées de photos accompagnées de texte et un groupe qui disposait d'instructions animées composées de vidéos accompagnées de texte. L'objectif était d'étudier si les apprenants atomisent l'action, qu'ils disposent

d'instructions photos ou d'instruction vidéo. Dans cette expérience, les participants des deux groupes découpent la consultation des instructions en de nombreuses courtes consultations entrecoupées d'actions lors du premier essai, ce qui correspond à une atomisation de l'action. Ces résultats indiquent que, lors d'un apprentissage procédural, les apprenants réalisent une atomisation de l'action au début de l'apprentissage, qu'ils soient confrontés à des instructions photo ou vidéo. Cette atomisation de l'action n'est pas contrainte par le format des instructions ou par la tâche. La réalisation d'une atomisation de l'action semble être effectivement liée aux limites de la mémoire de travail (Miller, 1956) et réalisée par l'apprenant pour limiter la charge cognitive lors de la première phase de l'apprentissage procédural. Cette atomisation de l'action semble caractériser principalement la phase déclarative de l'apprentissage procédural.

Un troisième objectif était d'examiner si le nombre d'essais pouvait interagir avec les formats d'instructions et affecter les performances des apprenants. En prenant en compte les différences entre les phases de l'apprentissage procédural, on peut envisager qu'une variable n'aura pas le même effet à chaque phase de l'apprentissage. En effet, différents processus cognitifs étant actifs dans chacune des phases (Anderson, 2013), le nombre d'essais peut interagir avec les variables étudiées. Nous avons montré, comme Ganier et de Vries (2016) que l'effet du format de présentation des instructions diffère selon les essais. Il est possible d'envisager que cela soit le cas pour l'effet de nombreuses autres variables. Puisque l'apprentissage procédural se déroule grâce à de nombreuses répétitions, il semble nécessaire de prendre en compte ces répétitions lors de son étude. Cela permet de considérer l'apprentissage dans son ensemble et de voir l'évolution des effets des variables étudiées lors des différentes phases de l'apprentissage.

En résumé, cette première expérience semble confirmer que l'utilisation du *e-learning* pour la simulation dans un but d'apprentissage de procédures peut permettre, grâce aux répétitions, d'améliorer la qualité et la vitesse de réalisation de la procédure. Elle fait apparaître que les apprenants réalisent naturellement une atomisation de l'action au début de l'apprentissage. Celle-ci ne semble pas contrainte par le format de présentation des instructions, mais par la capacité limitée de la mémoire de travail. Pour développer cette théorie, d'autres études devraient être menées avec différents formats d'instructions, comme des vidéos non interactives, des documents multimédias utilisant un format de texte

audio, ou sans texte. De plus, prendre en compte l'empan mnésique des participants pourrait permettre de confirmer que ce phénomène est dû à la capacité limitée de la mémoire de travail. Les résultats font apparaître que le nombre d'essais interagit avec les variables étudiées et influence les performances. Par conséquent, étudier une seule exécution d'une procédure - comme le font de nombreuses études sur l'apprentissage procédural à partir d'instructions - ne permet pas d'examiner les différentes étapes de l'acquisition des connaissances procédurales, ni l'effet des variables étudiées lors de chaque phase. C'est pourquoi, dans la suite des études de cette thèse, nous utiliserons un paradigme comportant plusieurs réalisations de la tâche. De plus, il semble que des paradigmes permettant l'atomisation de l'action devraient être utilisés lors d'études sur l'apprentissage procédural car il s'agit de la façon naturelle qu'ont les apprenants de consulter les instructions. Nous allons chercher à étudier cet effet dans l'expérience suivante.

## CHAPITRE 6 – L'APPRENTISSAGE A L'AIDE DE DOCUMENTS PROCEDURAUX : L'INFLUENCE DU PARADIGME D'ETUDE

Nous avons montré dans l'expérience précédente que lorsque les apprenants ne recevaient pas de consignes sur la manière de consulter les instructions et qu'ils n'étaient pas limités sur cette consultation, ils réalisaient naturellement de courtes consultations entrecoupées d'exécutions des actions sur les premières réalisations de la procédure. Ce processus, nommé par Vermersch (1985) l'atomisation de l'action, permettrait de limiter la charge cognitive liée au traitement des instructions lors de la phase déclarative de l'apprentissage. Permettre cette atomisation pourrait donc induire de meilleures performances que la séparation de la consultation des instructions et de l'exécution des actions en deux phases séparées. C'est cependant un paradigme méthodologique séparant les deux processus que de nombreuses études utilisent (Ayres, Marcus, Chan & Qiand, 2009; Garland & Sanchez, 2013; Mykityshyn, Fisk & Rogers, 2002; Palmiter & Elkerton, 1993).

L'objectif principal de cette deuxième expérience est de proposer des recommandations pour l'étude de l'apprentissage procédural. Elle cherche à examiner les influences potentielles de différents paradigmes d'étude sur l'apprentissage procédural. Il s'agit également, comme pour l'expérience précédente de vérifier la validité interne de la situation d'apprentissage par la simulation en étudiant les courbes d'apprentissage et la progression des participants à travers les phases de l'apprentissage procédural (Anderson, 2014).

### 1. Atomisation de l'action et paradigmes d'étude

Malgré l'atomisation de l'action observée dans des situations réelles d'apprentissage procédural, la majorité des études qui s'intéressent à l'efficacité de différents formats de présentation, s'appuient sur deux étapes distinctes pour étudier l'apprentissage procédural (Arguel & Jamet, 2009; Ayres, Marcus, Chan & Qiand, 2009; Garland & Sanchez, 2013; Mykityshyn, Fisk & Rogers, 2002; Palmiter & Elkerton, 1993). Ces études reposent sur ce que nous nommons un *paradigme d'exécution différée* : une première étape de consultation des instructions suivie d'une étape d'exécution de la procédure, généralement utilisée pour évaluer l'apprentissage de celle-ci. Ce paradigme est traditionnellement utilisé dans les recherches sur l'apprentissage déclaratif, dans lesquelles les apprenants consultent les

informations et sont ensuite évalués sur leurs connaissances. Cependant, l'apprentissage procédural se distingue de l'apprentissage déclaratif par le phénomène d'atomisation des actions, observé en situation réelle. Ainsi, le traitement des instructions dans un *paradigme d'exécution différée* ne sera probablement pas effectué de la même manière que dans un *paradigme d'atomisation de l'action*, qui correspond davantage à une situation écologique. Le traitement des instructions réalisé par les apprenants dans ces études peut être différent du traitement qu'ils réaliseraient en situation réelle. Si tel est le cas, les études sur l'apprentissage procédural devraient inclure ce type de paradigme afin d'obtenir des résultats plus proches de situations écologiques.

En nous appuyant d'une part sur l'idée de Vermersch (1985) selon laquelle les apprenants réaliseraient naturellement une atomisation de l'action en situation écologique, et d'autre part sur le fait que peu d'études utilisent ce paradigme, il semble pertinent de comparer les différentes méthodes de recherche utilisées pour déterminer si elles peuvent exercer une influence sur les résultats des études concernées. En effet, il s'agit de déterminer la méthode la mieux adaptée à l'étude de l'apprentissage procédural en particulier et non simplement inspirée des études basées sur l'apprentissage de connaissances déclaratives. Ici, nous cherchons à comprendre si l'utilisation d'un paradigme d'exécution différée plutôt qu'un paradigme d'exécution atomisée peut influencer l'apprentissage. Si l'atomisation de l'action a bien pour but de faire diminuer la charge mentale liée à la conversion des instructions en actions lors de la phase déclarative, alors l'utilisation d'un paradigme d'exécution différée pourrait rendre l'apprentissage plus difficile. Les méthodes d'évaluation utilisées ici se concentrent sur des mesures comportementales. Celles-ci sont généralement utilisées pour mesurer indirectement la charge cognitive, qui pourrait expliquer une potentielle différence entre les deux paradigmes en question (van Hooijdonk & Krahmer, 2008). Cette étude tente de faire apparaître que si le paradigme de recherche exerce une influence sur l'apprentissage, il est nécessaire d'utiliser le paradigme utilisé naturellement par les apprenants lors de l'apprentissage pour conduire les études sur l'apprentissage de procédures.

## **2. Hypothèses**

En vue de vérifier la validité interne du dispositif pour l'apprentissage, nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'essais devrait avoir un effet positif sur les performances. Ainsi,

les durées de réalisation, de consultation des instructions et d'exécution du geste devraient diminuer au fur et à mesure des essais. Par ailleurs, les scores OSATS devraient augmenter et le nombre d'erreurs diminuer au fil des essais, suivant l'allure d'une courbe d'apprentissage. Sur le plan des mesures subjectives, après avoir réalisé les cinq essais, les apprenants devraient avoir une confiance en soi et une compétence perçue concernant la réalisation du point de suture plus élevée qu'avant l'apprentissage.

L'expérience précédente a montré que les apprenants réalisaient une atomisation de l'action lors d'un apprentissage procédural. Cette atomisation est réalisée lors de la première phase de l'apprentissage procédural. La condition d'exécution atomisée devrait naturellement induire une atomisation de l'action. Cela signifie que le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions devrait être très élevé sur le premier essai puis diminuer dès le deuxième, marquant ainsi la fin de la phase déclarative de l'apprentissage. Lors des premiers essais les consultations devraient être très courtes, correspondant aux micro-prises d'informations tout au long de la réalisation de la procédure décrites par Vermersch (1985). En condition d'exécution différée, les participants contraints par le paradigme d'étude n'ont la possibilité de consulter les instructions qu'une seule fois par essai.

Concernant le paradigme d'étude, la consultation des instructions de façon atomisée, comme les individus le feraient en situation réelle, pourrait faciliter le traitement de l'information. En effet, si l'atomisation de l'action a pour but de réduire la charge cognitive en mémoire de travail, alors elle devrait avoir un effet facilitateur sur le traitement des informations et donc l'apprentissage. Nous faisons donc l'hypothèse que les individus qui consultent les instructions de manière atomisée réaliseraient de meilleures performances que les individus devant réaliser une exécution différée. Cela se traduirait par des durées de consultation, d'exécution et de réalisation plus brèves, un nombre d'erreurs plus faible ainsi que des scores OSATS plus élevés. La consultation des instructions séparément de l'exécution des actions pourrait également augmenter la difficulté de mémorisation de la procédure. Dans ce cas, les participants devant réaliser une exécution différée n'achèveraient pas la procédure sur les premiers essais.

Pour finir, suivant les résultats de Ganier et de Vries (2016) et de l'expérience précédente, nous faisons l'hypothèse que les différences entre les deux groupes ne devraient pas être similaires sur tous les essais, les phases d'apprentissage étant susceptibles d'interagir avec les conditions de consultation des instructions.

### **3. Méthode**

#### **3.1. Population**

Les participants étaient des étudiants de deuxième année à la Faculté de Médecine de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest) n'ayant participé à aucune autre expérience concernant les points de suture. Tous étaient volontaires pour participer à une expérience.

Quarante-deux individus (9 hommes et 33 femmes), âgés de 19,6 ans en moyenne ( $\sigma = 0,76$  ; min. = 18 ; max. = 23), ont passé l'expérience. Aucun n'avait réalisé de point de suture auparavant. Trente-neuf d'entre eux étaient droitiers, et trois gauchers.

Les participants ont été répartis en deux groupes : un groupe « exécution atomisée » et un groupe « exécution différée ». Cependant, du fait que plusieurs participants ont décidé d'abandonner avant la fin de l'expérience, les deux groupes étaient asymétriques en termes de nombre d'individus. Le groupe « exécution différée » était composé de 20 participants (4 hommes, 16 femmes) et le groupe « exécution atomisée » de 22 participants (5 hommes, 17 femmes).

#### **3.2. Matériel**

Différents types de matériels ont été utilisés pour cette expérience : (1) du matériel pédagogique, qui comprenait les instructions de réalisation et le matériel de présentation des instructions ; (2) du matériel chirurgical et de simulation, avec lequel les participants réalisaient les points de suture ; et (3) du matériel de recueil de données.

##### **3.2.1. Matériel pédagogique**

###### **3.2.1.1. Instructions de réalisation**

Les instructions étaient similaires à celles utilisées pour le format « instructions photo » dans l'expérience 1.

### 3.2.1.2. Matériel de présentation

Les images qui présentaient les instructions étaient affichées sur fond blanc et disposées pour être lues de gauche à droite puis de haut en bas, avec 4 images maximum par page. Elles étaient affichées sur un écran d'ordinateur portable, via le logiciel TIP-EXE (Ganier & Querrec, 2012). Ce logiciel permet d'enregistrer la durée d'exposition aux instructions en floutant chaque image grâce à une fonctionnalité spécifique. Pour visualiser une instruction, le participant doit cliquer sur celle-ci en maintenant le bouton de la souris enfoncé, ce qui déclenche un chronomètre. Dès que le bouton est relâché, la zone redevient floue. Toute durée hors consultation des instructions est considérée comme consacrée à la réalisation du geste technique. Dans cette expérience, chaque image était floutée séparément pour permettre un calcul précis du temps d'exposition à la lecture de chaque instruction et le parcours de lecture de chaque participant (Figure 22).

Sur chaque page était affichée une indication sur le nombre de pages du document et le numéro de la page visionnée, ainsi qu'un titre. Le matériel pédagogique était composé de deux parties : une partie prérequis et une partie procédure. La partie prérequis comportait 10 pages : Présentation des instruments (3 pages), Positionnement de l'aiguille sur le porte-aiguille (3 pages), Erreurs à éviter (4 pages) ; et la partie procédure comportait 5 pages : Point de suture (4 pages) et Rotation du fil (1 page).

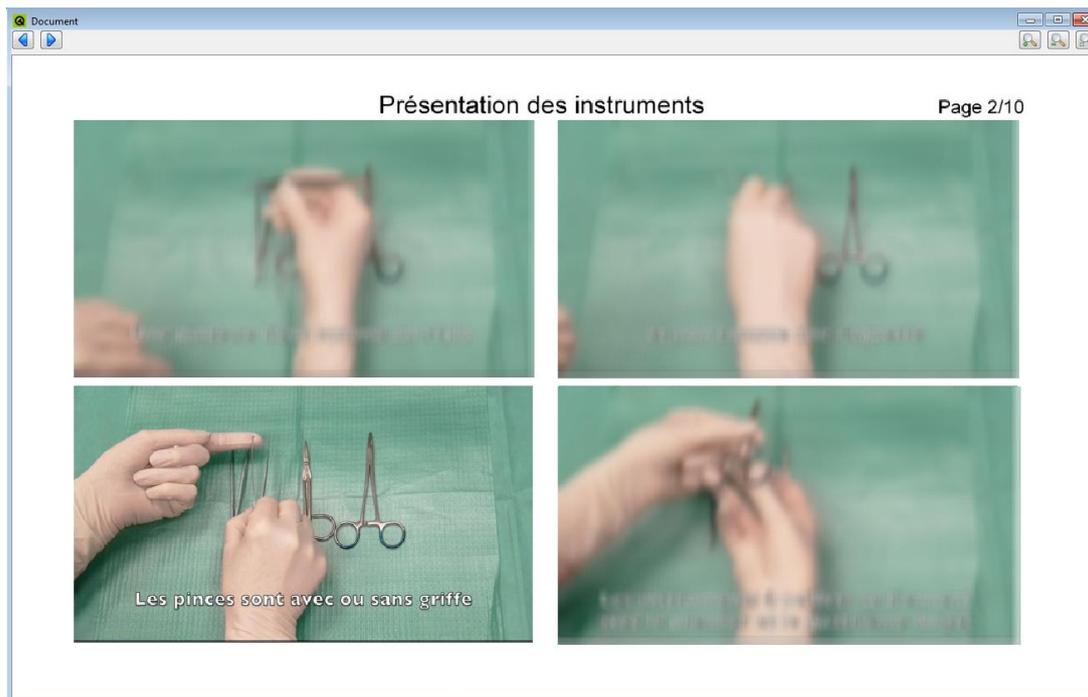


Figure 22. Photographies montrant les prérequis dans TIP-EXE. L'image en bas à gauche est activée (nette).

### 3.2.2. Matériel chirurgical et de simulation

Le matériel chirurgical et de simulation était identique à celui utilisé dans l'expérience 1 : (1) un porte-aiguille, (2) une pince à griffes, (3) une pince sans griffes, (4) des ciseaux, (5) un sachet qui contenait un fil serti d'une aiguille et (6) une peau synthétique.

### 3.2.3. Matériel de recueil de données

Afin d'évaluer l'apprentissage des participants, différents outils de mesure ont été utilisés : (1) le logiciel TIP-EXE pour le recueil des mesures chronométriques du comportement, (2) des échelles de qualité du geste technique, et (3) des questionnaires sur la satisfaction et la confiance en soi des participants.

#### 3.2.3.1. TIP-EXE : un outil destiné aux mesures chronométriques

Le logiciel TIP-EXE, sur lequel étaient présentées les instructions, servait à recueillir des mesures chronométriques concernant le comportement des participants.

Les mesures chronométriques étaient destinées à examiner le déroulement de l'apprentissage du geste technique et à vérifier son acquisition. Elles correspondaient à : (1) la durée d'exposition en lecture des instructions ou durée de consultation des instructions, qui désignait la durée d'affichage des instructions par les participants, (2) la durée

d'exécution du geste, qui désignait la durée pendant laquelle les participants ne visionnaient pas les instructions, et (3) la durée de réalisation de la procédure, qui correspondait à la somme des deux durées précédentes. Pour le groupe « exécution atomisée », qui pouvait consulter les instructions comme il le désirait, deux autres mesures comportementales étaient recueillies pour vérifier l'atomisation de l'action. Elles correspondaient au nombre d'alternances entre consultation et exécution, et à la durée d'une consultation des instructions qui correspondait à la durée de consultation divisée par le nombre de consultations.

Le recueil des mesures chronométriques était un peu différent selon les groupes. Pour éviter de devoir intervenir durant les passations avec les participants du groupe « exécution différée », il a été nécessaire de chronométrer manuellement les temps d'exécution de ces participants. En effet, ceux-ci avaient tendance à cliquer sur le bouton « tâche suivante » après avoir fini de consulter les instructions, ce qui arrêtait le chronomètre interne à TIP-EXE. À cette mesure étaient additionnées les durées entre les consultations d'instructions, car même si cela ne correspondait pas spécifiquement à une durée d'exécution, elles étaient prises en compte dans les durées d'exécution du « groupe exécution atomisée ». Pour pouvoir comparer les deux groupes sur des mesures semblables nous avons dû considérer pour les deux groupes toute durée hors consultation comme une durée d'exécution.

#### **3.2.3.2. Questionnaires et échelles**

Les échelles utilisées pour noter la qualité des points de suture étaient l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs à ne pas commettre, précédemment utilisées (Annexe 1 et Annexe 2). Les deux questionnaires administrés aux participants, pré-expérience (Annexe 3) et post-expérience (Annexe 4), étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience 1.

### **3.3. Procédure**

La passation de l'expérience était individuelle et se déroulait lors d'une séance d'une heure trente, au sein du service de chirurgie pédiatrique de l'hôpital Morvan (CHRU) à Brest. Les participants étaient placés devant le matériel expérimental constitué du matériel chirurgical et de l'ordinateur portable sur lequel ils devaient visualiser les instructions.

La séance était découpée en plusieurs phases. Tout d'abord le participant complétait le premier questionnaire, destiné à recueillir les données socio-démographiques et celles qui

concernaient la confiance en soi dans la réalisation du point de suture. Venaient ensuite trois phases : (1) une première phase de démonstration, (2) une phase d'exposition aux prérequis qui servait également de phase de familiarisation avec le dispositif de présentation des instructions puis (3) une phase expérimentale, qui correspondait à la réalisation des points de suture. Pour finir, les participants complétaient le second questionnaire et un débriefing leur était proposé.

La phase de démonstration permettait à l'expérimentateur de présenter le déroulement et les consignes de l'expérience et d'expliquer le fonctionnement du logiciel TIP-EXE. L'expérimentateur montrait comment rendre une image lisible, changer de page et passer à la phase suivante.

Durant la phase d'exposition aux prérequis, les participants pouvaient se familiariser avec l'utilisation du logiciel. Ils prenaient également connaissance de la partie des instructions qui comprenait la présentation du matériel, l'installation de l'aiguille sur le porte-aiguille et les conseils concernant les erreurs à éviter. Les participants pouvaient poser autant de questions qu'ils voulaient, manipuler les instruments chirurgicaux pour se familiariser avec leur prise en main et visualiser les instructions autant de fois que nécessaire. Ils étaient également informés qu'ils ne pourraient plus visualiser ces instructions une fois la phase suivante entamée.

Après la phase d'exposition aux prérequis, débutait la phase expérimentale à proprement parler, différente pour les deux groupes. Ici, chaque participant devait faire 5 essais de points de suture en suivant les instructions. Le groupe « exécution différée » devait réaliser chaque procédure en deux étapes : une étape de consultation des instructions puis une étape d'exécution. Durant l'étape de consultation des instructions, les participants avaient le droit de consulter les instructions aussi longtemps et autant de fois qu'ils le souhaitaient. Dès l'exécution commencée, ils n'avaient plus accès aux instructions et devaient essayer de faire un point de suture, jusqu'à ce qu'ils y parviennent ou renoncent. Le premier essai terminé, ils avaient à nouveau accès aux instructions aussi longtemps qu'ils le voulaient. La deuxième étape d'exécution commençait alors, et ainsi de suite jusqu'à la réalisation des 5 essais. Les participants du groupe « exécution atomisée » pouvaient consulter les instructions à tout moment, pouvant entrecouper les étapes d'exécution d'étapes de

consultation. Le paramétrage du logiciel TIP-EXE ne permettait pas de consulter les instructions simultanément à la réalisation de point de suture.

Durant chaque essai, l'expérimentateur observait l'ensemble des gestes réalisés par le participant et évaluait la qualité du point de suture à l'aide de l'échelle OSATS. A la fin de chaque essai l'expérimentateur vérifiait que le participant n'avait pas de difficulté majeure sur l'utilisation du logiciel ou sur les informations présentées et le vocabulaire utilisé.

A l'issue de la réalisation des 5 points de suture, les participants devaient compléter le questionnaire post-expérience puis un débriefing était réalisé. L'expérimentateur fournissait alors des informations spécifiques sur leur réalisation du point de suture et leurs difficultés éventuelles. Il pouvait également proposer des pistes pour améliorer la qualité de leurs points de suture, prendre leur avis sur l'expérience et répondre à leurs questions.

## **4. Résultats**

L'analyse des résultats porte d'abord sur la réussite de la tâche et les mesures comportementales (durée de réalisation de la procédure, durée de consultation des instructions et durée d'exécution du geste), et les mesures de qualité (nombre d'erreurs et score OSATS) pour les cinq essais. Elle se concentre ensuite sur les mesures comportementales fines (nombre d'alternances entre consultation et exécution, durée d'une consultation des instructions). Enfin, elle aborde les évaluations subjectives sur la confiance en soi, la compétence, l'intérêt, la facilité et les bénéfices de l'apprentissage perçus des étudiants avant et après la réalisation de l'expérience.

Toutes les mesures chronométriques sont présentées en minutes et centièmes, sauf la durée de consultation d'une instruction qui est présentée en secondes.

Les données brutes récoltées lors de cette expérience sont disponibles en ligne (Jannin, 2020b).

### **4.1. Réussite de la tâche**

Lors des premiers et deuxièmes essais, plusieurs participants du groupe « exécution différée » n'ont pas réussi à terminer la procédure (20% des participants ont arrêté de réaliser la procédure au premier essai et 5% au deuxième), du fait qu'ils avaient oublié les instructions, ou n'avaient pas compris ce qu'il fallait faire. Cela ne s'est jamais produit dans

le groupe « exécution atomisée » : 100% des participants ont réalisé l'intégralité de la procédure à chacun des 5 essais.

## 4.2. Durée de réalisation de la procédure

### 4.2.1. Effet du nombre d'essais

Les mesures chronométriques liées à la durée de réalisation de la procédure présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage (Figure 23) : la durée totale de réalisation est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5. Les étudiants mettent en moyenne 12,06mn ( $\sigma = 3,79$ ) pour réaliser la procédure la première fois et 6,03mn ( $\sigma = 2,76$ ) la deuxième fois. La troisième réalisation de la procédure prend en moyenne 4,16mn ( $\sigma = 2,02$ ). Entre les deux derniers essais, la durée de réalisation moyenne se stabilise avec une moyenne de 3mn ( $\sigma = 1,19$ ) pour le quatrième et de 2,67mn ( $\sigma = 0,95$ ) pour le cinquième. L'analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure :  $F(4,160) = 152,38$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0,792$ .

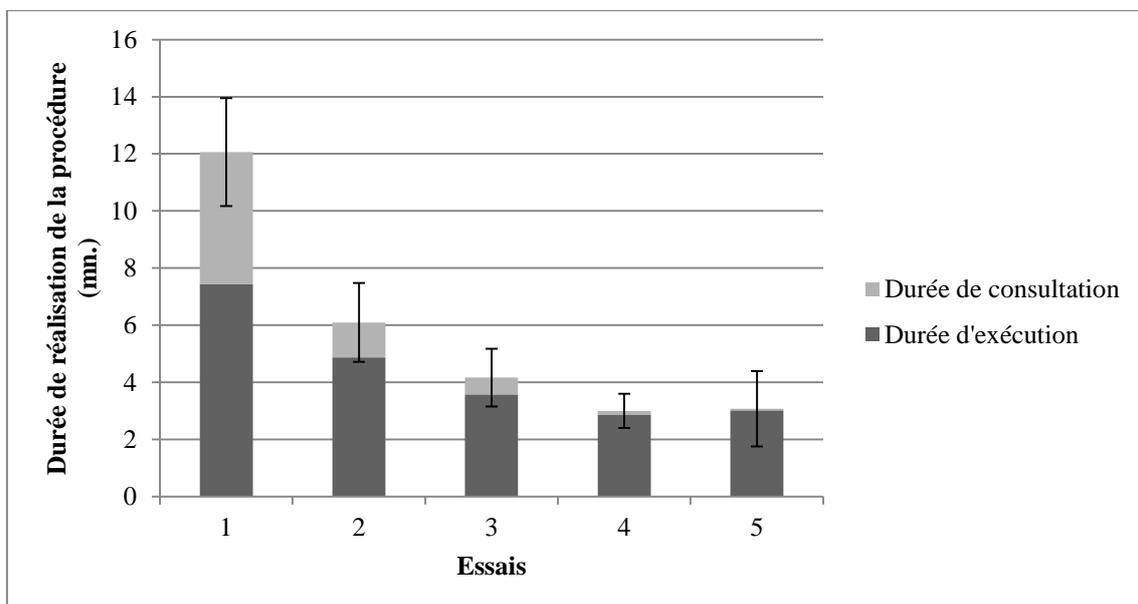


Figure 23. Durée de réalisation pour les 5 essais (cumulant les durées de consultation des instructions et d'exécution). Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation.

La diminution de la durée de réalisation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 4. La durée de réalisation diminue de 6,03mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 87,10$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins

marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 1,87mn :  $F(1,40) = 48,89$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 1,17mn :  $F(1,40) = 25,31$ ;  $p < .001$ . La différence (0,33mn) n'est plus significative entre l'essai 4 et l'essai 5. Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances.

#### 4.2.2. Interaction entre le paradigme d'étude et le nombre d'essais

Les participants qui consultent les instructions de façon atomisée, mettent plus de temps pour réaliser la procédure au premier essai, mais ont une durée de réalisation inférieure aux participants qui consultent les instructions de façon différée sur les essais suivants (Figure 24). Les résultats montrent une interaction significative entre le paradigme d'étude et le nombre d'essais sur la durée de consultation :  $F(4,160) = 3,01$ ;  $p = .019$ ;  $\eta^2 = 0,071$ .

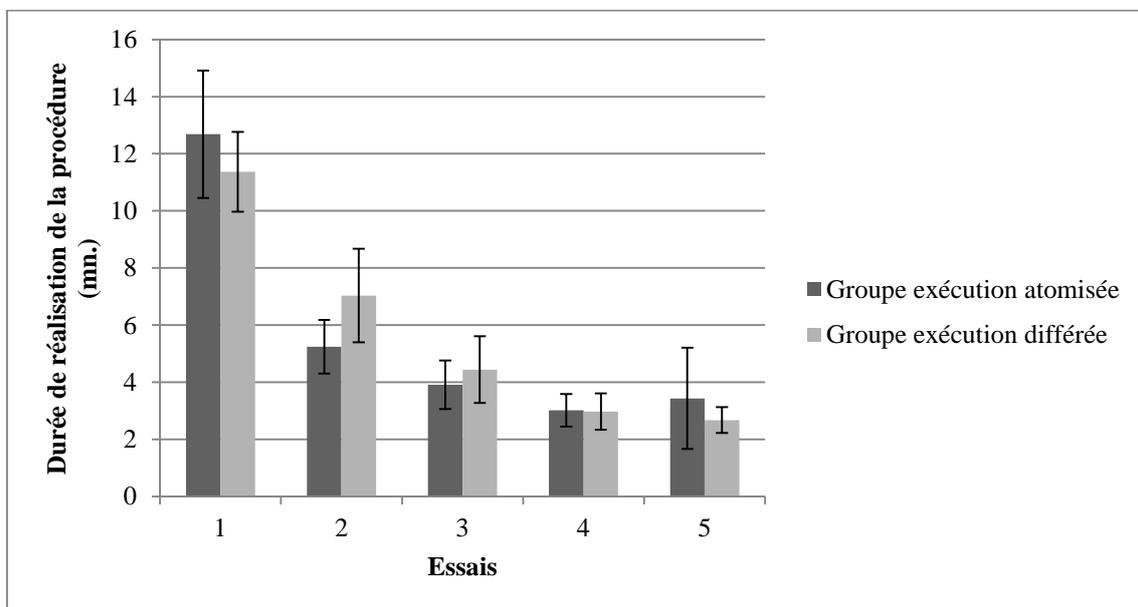


Figure 24. Durée de réalisation de la procédure pour les 5 essais en fonction du paradigme d'étude. Les barres représentent les écarts-types.

Les comparaisons analytiques par paires ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes sur aucun des essais.

Une analyse par contrastes révèle que la durée de réalisation de la procédure diminue plus fortement entre le premier et le deuxième essai pour les participants du groupe « exécution atomisée » (diminution de 7,45mn) que pour les participants du groupe « exécution différée » (diminution de 4,47mn) :  $F(1,40) = 5,46$ ;  $p = .025$ . Entre le deuxième et le troisième essai la durée de réalisation de la procédure diminue moins fortement pour les participants du groupe « exécution atomisée » (diminution de 1,33 mn) que pour les

participants du groupe « exécution différée » (diminution de 2,46 mn) :  $F(1,40) = 4,36$ ;  $p = 0.43$ . A partir du troisième essai, les participants consultant les instructions de manière atomisée ont une durée de réalisation similaire aux participants consultant les instructions de manière différée.

### **4.3. Durée de consultation des instructions**

#### **4.3.1. Effet du nombre d'essais**

La durée de consultation des instructions diminue au fil des essais (Figure 23). Les participants mettent en moyenne 4,62mn ( $\sigma = 1,79$ ) au premier essai et 1,22mn ( $\sigma = 1,03$ ) au deuxième essai. Pour les trois derniers essais les participants ne consultent presque pas les instructions, passant de 0,58mn ( $\sigma = 0,95$ ) pour le troisième essai à 0,12mn ( $\sigma = 0,37$ ) au quatrième, puis 0,06mn ( $\sigma = 0,22$ ) au cinquième. L'analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de consultation des instructions procédurales :  $F(4,160) = 166,96$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,807$ .

La diminution de la durée de consultation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. La durée de consultation diminue de 3,40mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 113,46$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,63mn :  $F(1,40) = 22,18$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,46mn :  $F(1,40) = 19,60$ ;  $p < .001$ . La différence est faible mais encore significative entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une diminution de 0,07mn :  $F(1,40) = 5,65$ ;  $p = .022$ .

#### **4.3.2. Effet des paradigmes d'étude**

Les participants du groupe « exécution atomisée » prennent en moyenne moins de temps à consulter les instructions ( $m = 1.16mn$ ) que les participants du groupe « exécution différée » ( $m = 1.49mn$ ). La durée de consultation des instructions varie en fonction du paradigme d'étude :  $F(1,40) = 4,23$ ;  $p = .046$ ;  $\eta^2=0,096$ .

#### **4.3.3. Interaction entre le paradigme d'étude et le nombre d'essais**

Les résultats montrent également une interaction significative entre le paradigme d'étude et le nombre d'essais sur la durée de consultation des instructions :  $F(4,160) = 4,79$ ;  $p = .001$ ;  $\eta^2 = 0,107$ . La Figure 25 montre que la durée de consultation des instructions est plus importante sur le deuxième et le troisième essai pour les participants du groupe « exécution différée » (1,83 et 0,94 mn), que pour les participants du groupe « exécution atomisée » (0,66 et 0,26 mn).

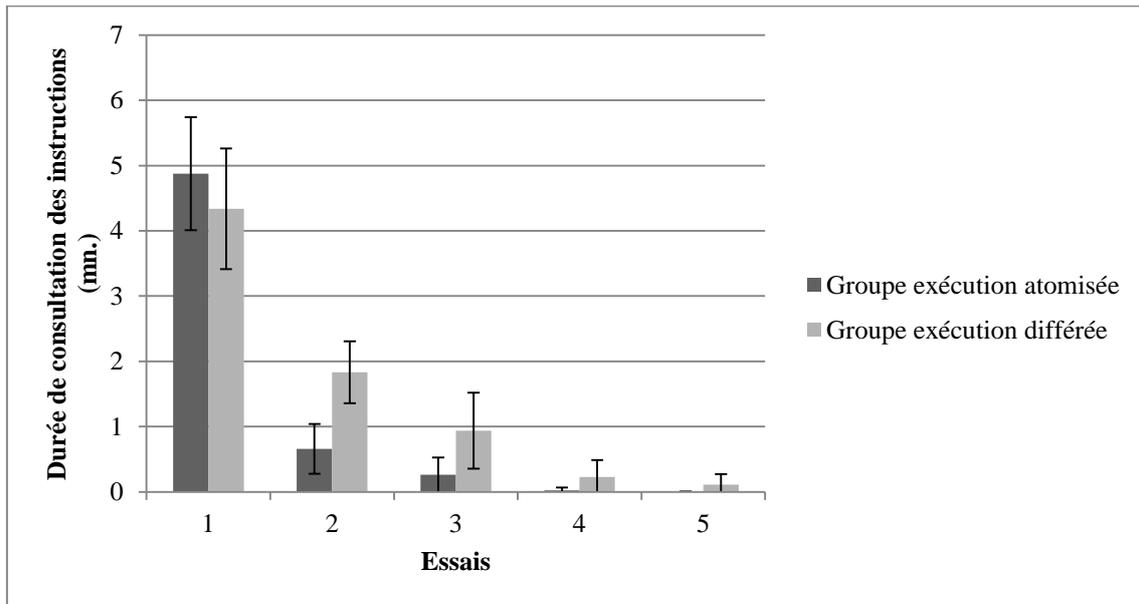


Figure 25. Durée de consultation des instructions pour les 5 essais en fonction du paradigme d'étude. Les barres représentent les écarts-types.

Les analyses par contrastes confirment ces résultats. Les participants du groupe « exécution différée » consultent significativement plus longtemps les instructions au deuxième et au troisième essai que les participants du groupe « exécution atomisée ». Au deuxième essai, les participants du groupe « exécution atomisée » consultent les instructions 0,66mn contre 1,83mn pour les participants du groupe « exécution différée » :  $F(1,40) = 19,59$ ;  $p < .001$ . Au troisième essai, les participants du groupe « exécution atomisée » consultent les instructions 0,26mn contre 0,94mn pour les participants du groupe « exécution différée » :  $F(1,40) = 6,01$ ;  $p = .019$ .

La différence n'est pas significative sur les autres essais.

#### 4.4. Durée d'exécution du geste

### ***Effet du nombre d'essais***

La Figure 23 montre que la durée d'exécution du geste diminue au fil des essais. Les participants mettent en moyenne 7,44mn ( $\sigma = 2,89$ ) pour réaliser le premier point de suture et 4,81mn ( $\sigma = 2,11$ ) pour le deuxième. La troisième exécution du geste prend en moyenne 3,58mn ( $\sigma = 1,49$ ). Entre les deux derniers essais, la durée d'exécution moyenne augmente légèrement avec une moyenne de 2,88mn ( $\sigma = 1,06$ ) pour le quatrième et de 2,62mn ( $\sigma = 0,90$ ) pour le cinquième. L'analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée d'exécution du geste :  $F(4,160) = 67,76$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,629$ .

La diminution de la durée d'exécution et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 4. La durée d'exécution diminue de 2,63mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 31,12$ ;  $p < .001$  ; et de 1,24mn de l'essai 2 à l'essai 3 :  $F(1,40) = 23,36$ ;  $p < .001$ . La diminution est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,70mn :  $F(1,40) = 12,48$ ;  $p = .001$ . La différence (0,26mn) entre l'essai 4 et l'essai 5 n'est pas significative. Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances.

Aucun autre effet n'est significatif.

### **4.5. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions**

#### ***Effet du nombre d'essais***

Le groupe « exécution différée » ne pouvant alterner entre la consultation des instructions et l'exécution des actions, l'analyse se concentre uniquement sur le groupe « exécution atomisée ». Le nombre d'alternances entre la consultation et l'exécution pour le groupe « exécution atomisée » est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5 (Figure 26). Les étudiants alternent en moyenne 42,74 fois ( $\sigma = 19,04$ ) entre la consultation et l'exécution au premier essai et 14 fois ( $\sigma = 10,68$ ) au deuxième. Au troisième essai ils alternent 5,98 fois ( $\sigma = 6,48$ ). Entre les deux derniers essais, le nombre d'alternances se stabilise avec une moyenne de 1,45 fois ( $\sigma = 3,88$ ) pour le quatrième et de 0,93 ( $\sigma = 3,53$ )

pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le nombre d'alternances :  $F(4,80) = 82,99; p < .001; \eta^2=0,806$ .

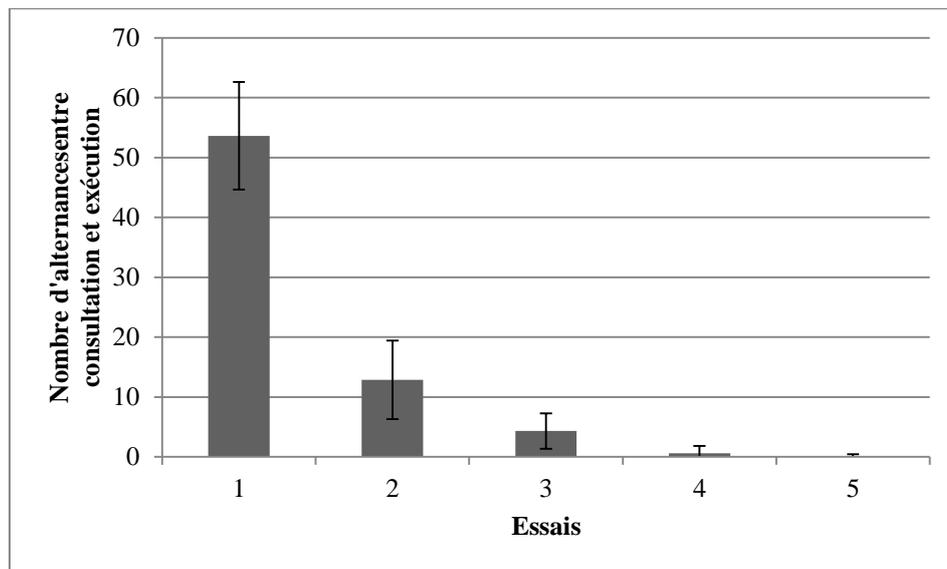


Figure 26. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste pour le groupe « exécution atomisée » pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'alternance et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences significatives de l'essai 1 à l'essai 4. Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste diminue de 28,74 de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,20) = 63,31; p < .001$ . Cette diminution est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 8,02 :  $F(1,20) = 9,69; p = .005$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 4,52 :  $F(1,20) = 11,67; p = .003$ . La différence (0,52) entre l'essai 4 et l'essai 5 n'est pas significative, les participants ne consultant presque pas les instructions.

Aucun autre effet n'est significatif.

#### 4.6. Durée d'une consultation des instructions

##### *Effet du nombre d'essais*

Le groupe « exécution différée » devant consulter les instructions en une fois, l'analyse se concentre uniquement sur le groupe « exécution atomisée ». En effet, pour le groupe « exécution différée » la durée d'une consultation des instructions correspond à la durée de consultation totale. La durée d'une consultation des instructions est toujours très courte, même si elle diminue au fil des essais (Figure 27). Les participants du groupe « exécution

atomisée » réalisent des consultations durant 5.58s en moyenne lors du premier essai, 2.38s lors du deuxième essai et 1.57s lors du troisième essai. La durée moyenne d'une consultation des instructions pour les participants du groupe exécution atomisée est très courte pour le quatrième (0.14s) et le cinquième essai (0.04s) car la majorité des participants ne consultent plus les instructions. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée d'une consultation :  $F(4,80) = 25,09$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,556$ .

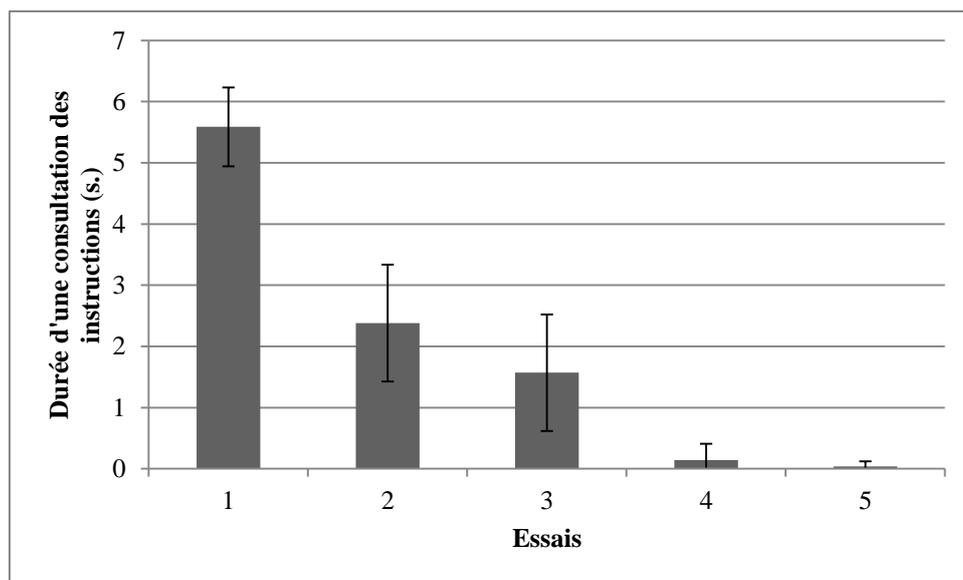


Figure 27. Durée d'une consultation des instructions pour le groupe « exécution atomisée » pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'alternances et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences significatives entre l'essai 1 et l'essai 2. La durée d'une consultation diminue de 3,21s de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,20) = 25,67$ ;  $p < .001$ . Les différences ne sont pas significatives sur les autres essais.

Aucun autre effet n'est significatif.

#### 4.7. Nombre d'erreurs

##### *Effet du nombre d'essais*

Le nombre d'erreurs commises par les participants diminue au fil des essais (Figure 28). Les participants commettent un nombre d'erreur moyen de 1,14 ( $\sigma = 0,90$ ) sur le premier essai et de 0,94 ( $\sigma = 0,77$ ) sur le deuxième. Le nombre d'erreurs reste stable au troisième essai, à 0,94 ( $\sigma = 0,93$ ), pour recommencer à diminuer au quatrième à 0,61 ( $\sigma = 0,78$ ) et au

cinquième : 0,56 ( $\sigma = 0,84$ ). L'analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le nombre d'erreurs :  $F(4,160) = 4,02$ ;  $p = .004$ ;  $\eta^2=0,091$ .

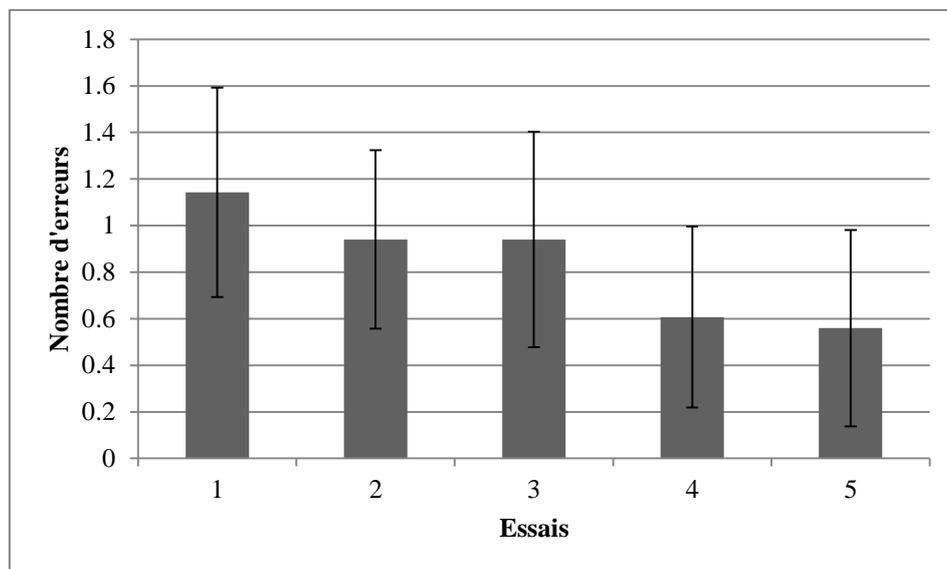


Figure 28. Nombre d'erreurs pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'erreurs a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent une différence significative de performance entre l'essai 3 et l'essai 4 :  $F(1,40) = 4,84$ ;  $p = .034$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

## 4.8. Score OSATS

### 4.8.1. Effet du nombre d'essais

La Figure 29 montre que la qualité des points de suture augmente au fil des essais. Les participants obtiennent un score moyen OSATS (sur 40) de 15,31 ( $\sigma = 3,88$ ) au premier essai et de 19,26 ( $\sigma = 4,10$ ) au deuxième. Les scores continuent d'augmenter pour les trois derniers essais, passant de 23,12 points ( $\sigma = 4,16$ ) pour le troisième essai, à 26,20 points ( $\sigma = 3,59$ ) au quatrième et 28,67 points ( $\sigma = 3,90$ ) au cinquième. L'analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le score OSATS :  $F(4,160) = 192,37$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,828$ .

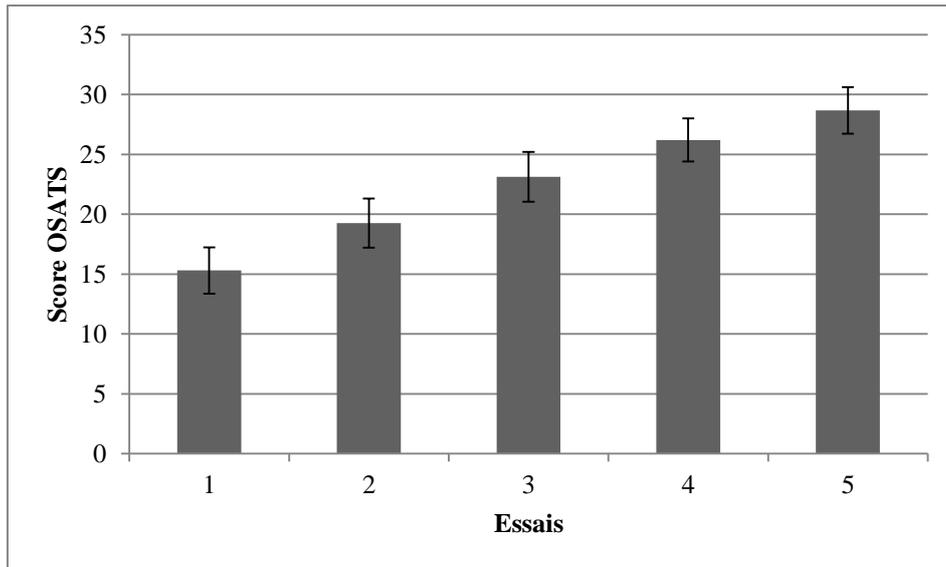


Figure 29. Scores OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

L'amélioration de la qualité des points de suture a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. Le score OSATS augmente de 3,95 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 42,37$ ;  $p < .001$  ; et de 3,86 points de l'essai 2 à l'essai 3 :  $F(1,40) = 58,87$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une augmentation de 3,08 points :  $F(1,40) = 54,54$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une augmentation de 2,46 points :  $F(1,40) = 52,61$ ;  $p < .001$ .

#### **4.8.2. Interaction entre le paradigme d'étude et le nombre d'essais**

La Figure 30 montre qu'au fil des essais le paradigme d'étude et le nombre d'essais exercent un effet sur le score OSATS. L'interaction est significative :  $F(4,160) = 3,06$ ;  $p = .018$ ;  $\eta^2=0,071$ .

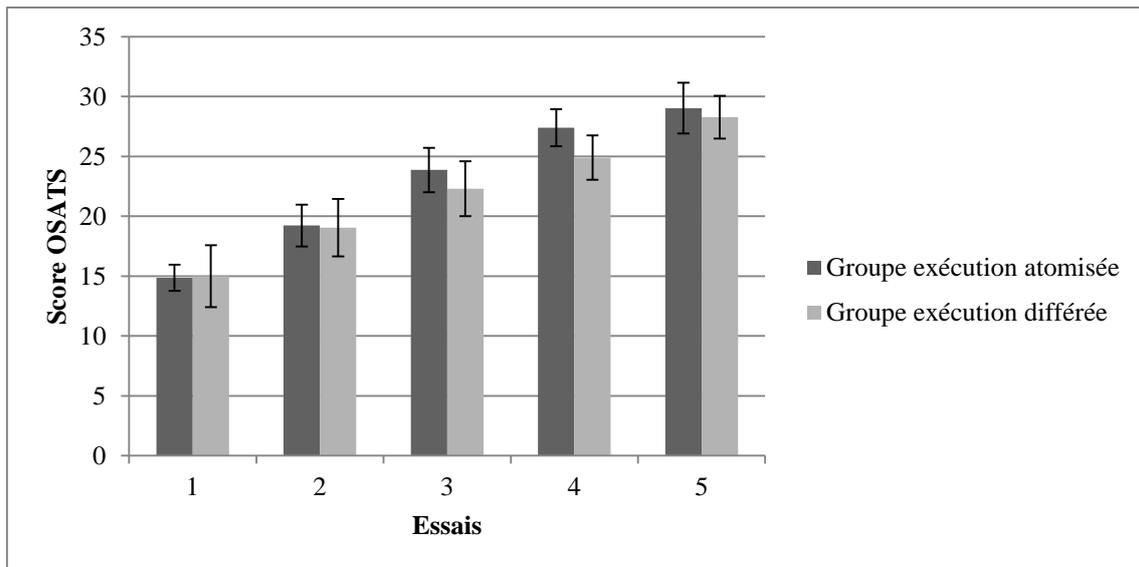


Figure 30. Score OSATS pour les 5 essais en fonction du paradigme d'étude. Les barres représentent les écarts-types.

Une analyse par contrastes confirme ces résultats. Les participants du groupe « exécution atomisée » obtiennent des scores OSATS significativement supérieurs à ceux des participants du groupe « exécution différée » au quatrième essai (respectivement  $m = 27,39$  et  $m = 24,90$ ) :  $F(1,40) = 5,59$ ;  $p = .023$ .

La différence n'est pas significative pour les autres essais.

#### 4.9. Évaluations subjectives de l'apprentissage

Les participants notent leur confiance en soi pour la réalisation d'un point de suture dans une situation simulée de façon significativement plus élevée après ( $m = 4,26$  ;  $\sigma = 0,91$ ) qu'avant l'entraînement ( $m = 3,14$  ;  $\sigma = 1,09$ ) :  $F(1,40) = 41,78$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,511$ . Ils notent également de façon plus élevée leur confiance en soi dans une situation réelle après l'entraînement ( $m = 1,79$  ;  $\sigma = 1,02$ ) qu'avant ( $m = 2,88$  ;  $\sigma = 1,04$ ) :  $F(1,40) = 63,62$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,614$ ; ainsi que leur compétence perçue après l'entraînement ( $m = 3,28$  ;  $\sigma = 0,74$ ) qu'avant ( $m = 2,45$  ;  $\sigma = 1,09$ ) :  $F(1,40) = 30,87$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,436$ . Sur les trois items qui évaluent l'intérêt perçu de l'exercice la moyenne des scores est de 4,92 ( $\sigma = 0,27$ ) sur 5. La facilité d'apprentissage perçue est notée 3,38 ( $\sigma = 0,98$ ) sur 5 en moyenne. Sur les deux items concernant les bénéfices perçus de l'apprentissage la moyenne des scores est de 4,70 ( $\sigma = 0,62$ ) sur 5.

Aucun autre effet n'est significatif.

## 5. Discussion

Cette deuxième expérience s'intéressait à l'impact du paradigme méthodologique utilisé lors des études sur l'apprentissage d'un geste technique. Le but principal était de déterminer si le phénomène d'atomisation de l'action, rencontré en situation d'apprentissage procédural réel, avait un impact positif sur l'apprentissage et s'il permettait de meilleures performances que l'exécution différée. Le paradigme généralement utilisé en recherche, consiste à découper la procédure en deux phases distinctes : consultation préalable des instructions puis exécution de la procédure. Il s'agissait également de confirmer les résultats obtenus lors de la première étude concernant l'apprentissage par la simulation en *e-learning*. Pour cela, la discussion portera sur les courbes d'apprentissage et le passage d'une phase déclarative de l'apprentissage à une phase de compilation des connaissances à travers l'étude du nombre d'alternances entre consultation et exécution. Trois résultats principaux ont été produits. Le premier concerne la validité interne de la situation d'apprentissage de geste technique par simulation (Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017). Cette validité correspond à l'amélioration des performances confirmant l'apprentissage de la procédure chez les participants. Le deuxième se rapporte aux effets du caractère immédiat ou différé de l'exécution d'actions sur l'apprentissage du geste technique. Finalement, le troisième concerne l'interaction entre la répétition de la procédure et le paradigme d'étude.

### 5.1. Évaluation de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure

Pour cette étude, il avait été fait l'hypothèse que le nombre de répétitions aurait un effet positif sur l'apprentissage. Il avait également été supposé que, pour le groupe « exécution atomisée », le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions devrait être très élevé sur le premier essai puis diminuer dès le deuxième, marquant ainsi la fin de la phase déclarative de l'apprentissage et le passage à la phase de compilation des connaissances (Anderson, 1983).

Les résultats de cette étude font apparaître, comme pour la première expérience, que les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage. Ils mettent en évidence une diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste, de la durée totale de réalisation de la tâche, et une amélioration de la qualité des points de suture. Après la réalisation de la simulation la confiance en soi des participants, aussi bien en situation simulée ou en situation réelle augmente. Leur

compétence perçue augmente également. La situation d'apprentissage par la simulation a été perçue comme intéressante et permettant un apprentissage.

Il est possible de voir, grâce au nombre d'alternances, le passage d'une phase déclarative de l'apprentissage procédural, caractérisée par un recours systématique aux instructions, à une phase de compilation des connaissances. En effet, pour le groupe « exécution atomisée », les apprenants alternent plus de 40 fois entre les instructions et l'exécution sur le premier essai, alors que le document qui présente la procédure ne comporte que 16 photos (une par étape-clé de la procédure). Ils consultent donc plusieurs fois chaque instruction. Lors des essais suivants, le nombre d'alternances est plus faible que le nombre d'instructions. Cette diminution correspondrait à la phase de compilation des connaissances (Anderson, 1983).

Le groupe « exécution différé » devant consulter les instructions en une seule fois, il n'est pas possible d'étudier la première phase de l'apprentissage procédural avec le nombre d'alternances. Il apparaît toutefois que les participants du groupe « exécution différée » passent un peu plus d'un tiers du temps total de la tâche à consulter les instructions au premier essai. La proportion de temps alloué à la consultation des instructions diminue ensuite à chaque essai, pour ne plus dépasser 5% de la durée totale de la tâche sur les deux derniers essais. Ces résultats sont donc cohérents avec l'idée de différentes phases lors de l'apprentissage procédural, dont la première servirait à l'interprétation des connaissances déclaratives délivrées par les instructions (Anderson, 1983). La réduction du recours aux instructions lors de la deuxième phase de l'apprentissage procédural est également visible. Cette deuxième phase de l'apprentissage procédural permettrait également d'améliorer la vitesse et la qualité de réalisation de la procédure (Anderson, 1983). Les résultats sont cohérents avec cette proposition car la durée d'exécution du geste diminue au fur et à mesure des essais pour l'ensemble des participants. L'amélioration du traitement des informations est également visible à travers l'amélioration de la qualité des points de suture.

## **5.2. Impact du paradigme d'étude**

Pour cette étude il avait été supposé que le paradigme permettant naturellement une atomisation de l'action induirait des performances supérieures comparativement à celui induisant une réalisation en deux phases séparées. Comme présenté dans la section précédente, les participants du groupe « exécution atomisée » consultent très souvent les

instructions entre chaque action, et de façon brève à chaque fois. Cette façon de réaliser la procédure s'apparente bien à ce que Vermersch (1985) décrit comme l'atomisation de l'action. L'atomisation de l'action, dont le rôle serait de libérer de l'espace en mémoire de travail et de faciliter l'apprentissage ne serait nécessaire que lors de la phase déclarative (Anderson, 1983), qui repose fortement sur la mémoire de travail. Les résultats ne font apparaître aucune différence sur la durée d'exécution du geste entre les deux paradigmes.

Les résultats font apparaître une différence entre les deux groupes sur la durée de réalisation de la procédure, mais ce résultat ne permet pas de choisir le paradigme le plus favorable à l'apprentissage. En revanche, concernant la durée de consultation des instructions, les résultats font apparaître que celle-ci diminue de façon plus rapide pour les participants du groupe « exécution atomisée » que pour les participants du groupe « exécution différée » et cela même si les premiers ont accès aux instructions durant toute la procédure. Les participants consultant les instructions de façon atomisée prennent en moyenne moins de temps à consulter les instructions que ceux qui consultent les instructions en différé. Ce résultat valide l'hypothèse de départ : il semble que le paradigme d'exécution atomisée soit plus favorable à l'apprentissage.

Ainsi, le paradigme d'exécution différée ne semble pas affecter l'exécution des actions mais affecte la consultation des instructions. Il semble que, puisqu'ils ne peuvent pas exécuter les actions directement après avoir consulté l'instruction s'y référant, les participants suivant un paradigme différé ont besoin de consulter plus longtemps les instructions. La diminution de la consultation des instructions serait due, selon Anderson (1982) aux processus d'interprétation qui permettent de transformer les connaissances déclaratives contenues dans les instructions en connaissances procédurales. Ces processus seraient très coûteux et seraient réalisés sur de petites étapes d'instructions. L'obligation de consulter les instructions en une seule fois, sans exécuter les actions, pourrait perturber le déroulement de ces processus. Par ailleurs, dans le modèle ACT d'Anderson (2014), la pratique de l'activité est nécessaire pour passer d'une connaissance déclarative à une connaissance procédurale. L'alternance entre consultation des instructions et exécution des actions pourrait donc permettre la construction des connaissances procédurales. Le paradigme d'exécution différée pourrait affecter particulièrement la durée de consultation des instructions car il perturberait la procéduralisation.

Pour confirmer l'avantage du paradigme d'exécution atomisée par rapport au paradigme d'exécution différée, il est nécessaire de s'intéresser à la qualité d'exécution du geste qui devrait traduire la qualité du traitement des instructions. Les résultats montrent qu'une exécution atomisée des instructions semble être plus profitable qu'une exécution différée. En effet, les scores OSATS des participants confrontés au paradigme d'atomisation de l'action augmentent de façon plus rapide que ceux des participants confrontés au paradigme d'exécution différée. Ces résultats sont cohérents avec nos hypothèses.

Par ailleurs, certains participants placés dans un paradigme d'exécution différée n'ont pas réussi sur les deux premiers essais à terminer la procédure, ce qui n'est le cas pour aucun des participants suivant un paradigme d'atomisation de l'action. Il pourrait s'agir d'un problème de mémorisation : ils n'auraient pas réussi à stocker la procédure entière en mémoire. Ces résultats sont conformes à ceux de Dixon (1982) qui a mis en évidence dans une expérience que les individus qui réalisaient l'ensemble d'une procédure de mémoire consultaient les instructions plus longtemps et commettaient plus d'erreurs que les individus qui réalisaient cette procédure étape par étape. Il suppose que la performance moindre chez les participants devant se rappeler la procédure est due aux limites de la mémoire de travail. En effet, dans d'un paradigme d'exécution différée, les participants doivent conserver en mémoire de travail l'intégralité des instructions, ce qui dépasse les limites quantitatives de la mémoire de travail. La phase déclarative de l'apprentissage procédural étant cognitivement très coûteuse, cela peut fortement affecter l'apprentissage.

Nous pouvons supposer que si, comme le pensait Vermersch (1985), l'atomisation de l'action permet aux apprenants de diminuer la charge cognitive causée par la conversion des instructions en action en mémoire de travail, cette diminution de la charge cognitive permet de libérer de la place en mémoire de travail. Cet espace disponible permet peut-être une augmentation de la charge cognitive pertinente et par conséquent un meilleur apprentissage. La charge cognitive pertinente correspond à l'effort qui contribue à la construction de l'apprentissage. Son augmentation, en permettant des processus cognitifs directement pertinents pour la construction de schémas en mémoire à long terme, pourrait permettre aux participants du groupe « exécution atomisée » de moins consulter les instructions (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). De plus, l'exécution des actions étant

nécessaire pour la procéduralisation des connaissances, l'atomisation de l'action pourrait permettre la création de schémas procéduraux et non déclaratifs (Anderson, 2014).

### **5.3. Répétitions de la procédure**

Concernant l'effet du nombre d'essais, nous avons émis l'hypothèse que les variations de performances entre les deux groupes ne seraient pas similaires sur tous les essais, les phases d'apprentissage interagissant avec les conditions de consultation des instructions. Les résultats de cette étude montrent que le nombre d'essais interagit effectivement avec le paradigme d'étude et influence les performances des participants, sur la durée de réalisation, la durée de consultation des instructions et le score OSATS. Concernant la durée de réalisation de la procédure, entre les deux premiers essais la diminution est plus importante pour les participants suivant un paradigme atomisé, alors qu'elle est plus importante pour les participants suivant un paradigme différé entre le deuxième et troisième essai. De même, la durée de consultation des instructions est plus courte lors du premier essai pour les participants suivant un paradigme d'exécution différée que pour les participants du groupe « exécution atomisée ». Cette tendance s'inverse pour les quatre essais suivants. Enfin, le score OSATS est similaire dans les deux groupes au début de l'apprentissage. Par la suite, les participants du groupe « exécution atomisée » obtiennent de meilleurs scores OSATS sur les troisièmes et quatrièmes essais. Au cinquième essai, les deux groupes retrouvent des performances similaires.

La répétition permet bien de faire apparaître des différences entre les deux paradigmes d'étude et de révéler l'apprentissage. Le paradigme dans lequel les apprenants sont placés va donc exercer une influence sur l'apprentissage en tant que processus. En accord avec les résultats de Ganier et de Vries (2016) et de l'expérience 1, les résultats de cette étude font apparaître clairement que la répétition de la procédure peut interagir avec les variables étudiées. Il semble par conséquent nécessaire de prendre en compte plusieurs répétitions de la tâche lorsqu'on étudie l'apprentissage procédural, pour avoir une vision plus complète de l'effet des variables étudiées sur l'apprentissage.

## **6. Conclusion**

L'objectif principal était d'étudier l'effet du paradigme méthodologique de consultation des instructions sur l'apprentissage et d'en tirer des enseignements méthodologiques pour

améliorer l'étude de l'apprentissage procédural. Le phénomène d'atomisation de l'action, montré lors de l'expérience 1, aurait pour utilité de faciliter le traitement des instructions et leur conversion en actions. Lors de la première phase d'un apprentissage procédural les apprenants réaliseraient cette atomisation de l'action pour réduire la charge cognitive induite par l'interprétation des connaissances déclaratives contenues dans les instructions (Vermersch, 1985). Les résultats de cette étude confirment que les individus se trouvent dans une situation d'apprentissage. Avec la pratique, les apprenants améliorent leurs performances que ce soit en termes de vitesse ou de qualité de réalisation. Leurs performances suivent l'allure d'une courbe d'apprentissage. De plus, l'étude des alternances entre consultation et exécution fait apparaître une transition d'une phase déclarative, reposant sur les instructions, à une phase de compilation des connaissances, permettant une amélioration de la vitesse et de la qualité d'exécution (Anderson, 1983). La phase déclarative semble également être fortement caractérisée par l'atomisation de l'action (Vermersch, 1985).

Dans les études qui s'intéressent à l'apprentissage procédural, la méthode généralement utilisée est la séparation de la procédure en deux étapes distinctes : une étape de consultation des instructions et une étape d'exécution de la procédure (Arguel & Jamet, 2008; Marcus, Cleary, Wong & Ayres, 2013; Michas & Berry, 2000; Mykityshyn, Fisk & Rogers, 2002; Palmiter & Elkerton, 1993). Au cours de cette étude, nous avons vérifié que les apprenants réalisent bien une atomisation de l'action lorsqu'on leur laisse la possibilité de le faire, et que cette atomisation de l'action a un effet positif sur l'apprentissage. Dans cette expérience, les résultats font apparaître que les individus qui avaient un libre accès aux instructions découpaient la consultation des instructions en alternant très souvent entre consultation et exécution lors du premier essai. De plus, chaque consultation des instructions était très courte. Ce phénomène correspond effectivement à une atomisation de l'action. Concernant l'effet des paradigmes d'étude sur les performances, les résultats de cette étude font apparaître que la durée de consultation des instructions et la durée de réalisation de la procédure diminuent plus rapidement, dès le deuxième essai, pour les individus qui réalisent une atomisation de l'action que pour les individus soumis au paradigme d'exécution différée. De la même façon, la qualité du point de suture, mesurée par le score OSATS, augmente plus rapidement pour les individus qui réalisent une

atomisation de l'action que pour les individus soumis au paradigme d'exécution différée. Ce paradigme semble donc plus favorable qu'un paradigme d'exécution différée.

Un troisième résultat important a été observé. Celui-ci concerne l'influence de la répétition de la procédure sur l'effet des variables étudiées. Dans notre première expérience nous avons montré que le nombre d'essais exerçait une influence sur les effets des variables étudiées, il nous paraissait donc important de prendre en compte la répétition de la procédure dans la conception de paradigmes expérimentaux concernant l'apprentissage procédural. Nos résultats indiquent que le nombre d'essais interagit avec le paradigme d'étude et influence les performances. La prise en compte de plusieurs essais semble donc nécessaire pour étudier l'apprentissage procédural en tant que processus et comprendre les effets des variables étudiées sur celui-ci.

En résumé, cette étude semble confirmer d'une part, que l'atomisation de l'action devrait être utilisée, voire privilégiée, lors d'études sur l'apprentissage procédural. Parce que, comme nous l'avons montré dans l'expérience 1, cette façon de faire est spontanément utilisée lors de l'apprentissage procédural, mais également parce qu'elle pourrait permettre d'éviter une surcharge cognitive extrinsèque susceptible de perturber l'apprentissage. C'est pourquoi, dans la suite des études de cette thèse, nous utiliserons un paradigme d'étude permettant l'atomisation de l'action, permettant aux apprenants d'agir dans les conditions les plus naturelles possible. D'autre part cette étude semble confirmer, comme la première expérience, qu'il est nécessaire de prendre en compte plusieurs répétitions lors de l'étude de l'apprentissage procédural, car il s'agit d'un processus progressif.

Enfin, cette étude, comme la première, semble confirmer que l'utilisation du *e-learning* pour la simulation de procédures dans un but d'apprentissage peut permettre, grâce aux répétitions, d'améliorer la qualité et la vitesse de réalisation de la procédure.

## CHAPITRE 7 – EFFET DE LA PERSPECTIVE DES INSTRUCTIONS SUR L'APPRENTISSAGE DE PROCEDURES

Les expériences précédentes ont montré comment les apprenants alternent entre la consultation des instructions et l'exécution des actions lors de l'apprentissage d'une procédure et comment ce processus évolue en fonction des différentes phases de l'apprentissage. Ces résultats ont permis de confirmer le choix d'une méthode qui permet de respecter la façon dont les apprenants réalisent l'atomisation de l'action.

Dans les expériences présentées dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la question du point de vue de présentation des instructions pour l'apprentissage de procédures par la simulation en *e-learning*. En effet, les instructions visuelles pour l'apprentissage sont souvent présentées avec une perspective hétérocentrée ou point de vue « à la troisième personne » (point de vue d'une personne faisant face à celle réalisant les actions), plutôt qu'avec une perspective égocentrée ou point de vue « à la première personne » (point de vue de la personne réalisant les actions). Cela s'explique par une plus grande facilité à filmer le point de vue d'une tierce personne que celui de la personne active. Cependant, l'efficacité de ce type d'instructions pose question, d'autant que certaines études ont montré un effet positif de la perspective égocentrée sur la réalisation d'une procédure (Fiorella, van Gog, Hoogerheide & Mayer, 2017; Garland & Sanchez, 2013). Toutefois, aucune de ces études ne s'inscrivait dans un paradigme prenant en compte les spécificités de l'apprentissage procédural : atomisation de l'action et nécessité de répéter la procédure. Les études suivantes visent à aborder la question de l'apprentissage procédural médié par des instructions présentées selon différentes perspectives. Les effets des points de vue hétérocentrés et égocentrés sur l'apprentissage sont étudiés dans deux expériences. Les liens possibles entre le traitement des instructions et les capacités visuo-spatiales de l'apprenant sont également examinés.

### **1. Habiletés visuo-spatiales et perspective des instructions visuelles**

Il existe différentes façons de présenter des instructions procédurales : un simple texte qui décrit les actions à réaliser, une représentation de l'effet des actions sur un objet, une représentation d'une personne qui réalise l'action, etc. Lorsqu'on décide de représenter une

personne qui réalise l'action, il est possible de présenter les images ou les vidéos procédurales de différents points de vue : du point de vue de la personne qui réalise l'action ou d'un point de vue extérieur (caméra face à la personne, sur le côté, de trois-quarts...). Dans le cas où l'apprenant se trouve confronté à des instructions présentées d'un point de vue extérieur (ou point de vue hétérocentré), il peut être nécessaire pour lui de transformer mentalement l'image pour la conformer à son propre point de vue et ainsi mieux comprendre les actions à réaliser.

Les études expérimentales portant sur le raisonnement spatial ont identifié deux types d'aptitudes visuo-spatiales qui pourraient soutenir cette transformation. Une de ces aptitudes est la visualisation spatiale, qui correspond à l'aptitude à imaginer le mouvement d'objets (Hegarty & Waller, 2004). Dans ce type de transformation, la position des objets est modifiée mais celle de l'individu réalisant la transformation reste identique. Les tests de rotation mentale sont souvent utilisés pour évaluer cette aptitude. L'aptitude à la rotation mentale correspond à l'aptitude à faire tourner mentalement l'image d'un objet 2D ou 3D, il s'agit d'une forme particulière d'imagerie mentale (Shepard & Metzler, 1971). La seconde aptitude qui pourrait jouer un rôle correspond à la prise de perspective, qui représente l'aptitude à imaginer l'apparence des objets depuis une autre perspective (Hegarty & Waller, 2004). Cette aptitude consiste à déplacer le cadre de référence égocentrique de l'individu et non l'objet. S'il est nécessaire pour les apprenants de réaliser une transformation pour traiter des instructions hétérocentrées, il est possible qu'ils utilisent au moins l'une de ces aptitudes. Le type de transformation réalisé (rotation mentale ou prise de perspective) pourrait dépendre de l'individu. En effet, même si ces processus sont différents, ils sont généralement fortement corrélés (Kozhevnikov & Hegarty, 2001). Sans une verbalisation claire des individus, il peut s'avérer impossible de savoir s'ils utilisent une stratégie de rotation mentale, une stratégie de prise de perspective ou une combinaison des deux. Certaines études ont montré que pour une même tâche, des individus différents utilisaient des stratégies visuo-spatiales différentes (Schulz, 1991; Carroll, 1993).

Selon la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988), le matériel pédagogique doit être adapté pour minimiser la charge extrinsèque, tout en permettant un traitement efficace des informations. Dans la mesure où la charge induite par le traitement d'instructions lors de la phase déclarative dépend, en plus des caractéristiques des instructions, de certaines

caractéristiques psychologiques, les aptitudes visuo-spatiales des individus pourraient exercer un effet sur la charge cognitive extrinsèque liée au traitement d'instructions visuelles. De ce fait, il serait possible que les aptitudes visuo-spatiales interagissent avec le point de vue présenté : le traitement d'instructions hétérocentrées pourrait être facilité pour les individus qui présentent des aptitudes élevées à la rotation mentale ou à la prise de perspective, par rapport à des individus ayant de faibles aptitudes. De la même façon, il serait plus facile pour un individu qui dispose de faibles aptitudes visuo-spatiales de traiter des instructions présentées selon un point de vue égocentré plutôt que des instructions hétérocentrées, qui nécessiteraient un effort de transformation mentale. Ainsi, la nécessité de transformer mentalement les images, pour traiter les instructions hétérocentrées augmenterait la sollicitation de la mémoire de travail et donc la charge extrinsèque. En effet, certaines recherches sur la perspective des instructions suggèrent que le point de vue égocentré est le mieux adapté à la réalisation d'une procédure (Fiorella, van Gog, Hoogerheide & Mayer, 2017; Garland & Sanchez, 2013). Cependant, une étude de Boucheix, Gauthier, Fontaine et Jaffeux (2018) sur l'apprentissage d'une procédure d'insertion de cathéter a montré des résultats différents. Dans cette étude, des étudiants en école d'infirmiers et de sage-femme avaient accès à des vidéos présentées selon un point de vue hétérocentré, égocentré ou mixte (qui alternait entre les points de vue hétérocentré et égocentré). Les résultats sur la qualité de réalisation de la procédure montrent que le point de vue mixte était le plus favorable pour l'apprentissage. Cependant, les effets des autres points de vue différaient selon les étapes et le point de vue égocentré était plus approprié lors de l'apprentissage d'une étape nécessitant un point de vue stable et focalisé sur une action. Selon les auteurs, le point de vue égocentré devrait donc être à privilégier pour l'apprentissage d'une procédure ne nécessitant pas de se déplacer ou de changer de point de vue (Boucheix, Gauthier, Fontaine & Jaffeux, 2018). Puisque la réalisation d'un point de suture ne nécessite ni de déplacement ni de changement de point de vue, des instructions égocentrées devraient donc être les plus appropriées. Une étude de Fiorella, van Gog, Hoogerheide et Mayer (2017) s'est intéressée à une procédure qui nécessiterait un point de vue stable et focalisé. Dans cette étude, des étudiants ont dû réaliser une construction de différents circuits électriques en connectant différents composants. Pour chaque circuit, les participants ont visionné une vidéo pédagogique présentée à la première ou à la troisième personne. Les participants qui visionnaient les vidéos à la première personne étaient plus

précis et effectuaient les tâches d'assemblage plus rapidement que ceux qui visionnaient les vidéos à la troisième personne. Cependant, cette étude n'inclut qu'une réalisation de la tâche alors que, comme nous l'avons montré au chapitre précédent, la répétition de la tâche est susceptible d'interagir avec les autres variables étudiées (comme le paradigme d'étude ou le format des instructions). La répétition de la procédure doit par conséquent être prise en compte dans l'étude de l'effet de la perspective des instructions sur l'apprentissage procédural.

Le but des deux expériences suivantes est donc de trouver le point de vue (égocentré ou hétérocentré) de présentation d'instructions visuelles le plus adapté pour l'apprentissage procédural. Les instructions étant majoritairement utilisées lors de la première phase de l'apprentissage de procédures, il est nécessaire que ces instructions n'induisent pas un coût cognitif élevé (Anderson, 1982; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). En effet, la phase déclarative est très coûteuse en ressources cognitives et l'utilisation d'instructions impliquant une forte charge extrinsèque pourrait nuire à l'apprentissage (Beaunieux et al., 2006; Fraser, Ayres & Sweller, 2015).

## **2. Expérience 3**

Dans cette expérience, deux types de perspectives d'instructions ont été comparés : le point de vue égocentré et le point de vue hétérocentré. Les aptitudes à la prise de perspective et celles de rotation mentale des participants ont été évaluées afin d'examiner si les instructions hétérocentrées gênaient plus fortement les participants disposant de faibles aptitudes que ceux qui disposent d'aptitudes élevées. L'objectif était de déterminer le point de vue adapté à tous les apprenants, qu'ils aient de fortes ou de faibles aptitudes visuo-spatiales.

Dans le but de vérifier la rétention de la procédure à plus long terme une deuxième session, servant d'évaluation, était réalisée une semaine après la première session d'apprentissage.

### **2.1. Hypothèses**

En vue de confirmer la validité interne du dispositif pour l'apprentissage, nous avons émis l'hypothèse que l'entraînement devrait avoir un effet positif en termes de performances. Les durées de réalisation, de consultation des instructions et d'exécution du geste devraient diminuer au fur et à mesure des essais. Les scores OSATS devraient augmenter et le nombre

d'erreurs diminuer au fil des essais, suivant l'allure classique d'une courbe d'apprentissage. Les performances devraient se maintenir lors de la deuxième session. Sur le plan des mesures subjectives, après avoir réalisé les cinq essais, les apprenants devraient avoir une confiance en soi et une compétence perçue concernant la réalisation du point de suture plus élevées qu'avant l'apprentissage.

Les études précédentes ont montré que la progression entre les phases de l'apprentissage devrait être perceptible à travers l'étude de l'atomisation de l'action. En effet, le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions devrait être très élevé sur le premier essai puis diminuer à partir du deuxième essai, reflétant le passage de la phase déclarative à la phase de compilation de connaissances de l'apprentissage procédural (Anderson, 1983).

Concernant le point de vue de présentation des instructions, la perspective égocentrée pourrait minimiser la charge cognitive extrinsèque et faciliter ainsi le traitement de l'information au début de l'apprentissage, en particulier pour les apprenants qui disposent de faibles aptitudes visuo-spatiales, telles que la rotation mentale ou la prise de perspective. Cela pourrait avoir un effet facilitateur sur l'apprentissage, conformément aux conclusions d'études antérieures sur la perspective des vidéos pédagogiques (Fiorella, van Gog, Hoogerheide & Mayer, 2017; Garland & Sanchez, 2013). Nous faisons l'hypothèse que, dans le cas de l'utilisation d'instructions présentant une perspective hétérocentrée, les performances pourraient être corrélées avec les aptitudes visuo-spatiales. Cela se traduirait par des durées de réalisation, de consultation des instructions et d'exécution plus élevées ; des scores OSATS plus faibles et un nombre d'erreurs plus élevé pour les participants disposant de faibles aptitudes visuo-spatiales et inversement pour les participants présentant de bonnes aptitudes visuo-spatiales. La différence entre les deux groupes d'apprenants serait minimisée lorsqu'ils seraient exposés à des instructions présentées avec une perspective égocentrée.

## **2.2. Méthode**

### **2.2.1. Population**

Les participants étaient des étudiants de deuxième année inscrits à la Faculté de Médecine de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest), n'ayant participé à aucune autre

expérience concernant les points de suture. Tous étaient volontaires pour participer à une expérience.

Quarante-quatre individus (9 hommes et 35 femmes) âgés de 19,6 ans en moyenne ( $\sigma = 0,69$  ; min. = 19 ; max. = 21), ont participé à l'expérience. Aucun n'avait réalisé de point de suture auparavant. Quatre d'entre eux étaient gauchers.

Suite au recrutement, les participants ont été répartis en deux groupes : un groupe « égocentré » et un groupe « hétérocentré ». Cependant, plusieurs participants ont décidé de se retirer de l'expérience. De ce fait, les deux groupes étaient asymétriques en termes de nombre d'individus. Le groupe égocentré était composé de 23 participants (3 hommes, 20 femmes) et le groupe hétérocentré de 21 participants (6 hommes, 15 femmes).

### **2.2.2. Matériel**

Pour cette expérience, différents types de matériels ont été utilisés : (1) le matériel pédagogique, qui comprenait les instructions de réalisation et le matériel de présentation des instructions ; (2) le matériel chirurgical et de simulation, avec lequel les participants réalisaient les points de suture ; et (3) le matériel de recueil de données.

#### **2.2.2.1. Matériel pédagogique**

##### **2.2.2.1.1. Instructions de réalisation**

Les instructions utilisées étaient similaires à celles utilisées dans l'expérience 2. Toutefois celles-ci étaient présentées sous forme de photos orientées selon deux points de vue différents (Figure 31): soit un point de vue égocentré, soit un point de vue hétérocentré. Le point de vue égocentré présentait les instructions du point de vue de la personne qui réalise les actions et le point de vue hétérocentré présentait les instructions du point de vue d'une personne placée face à celle qui réalise les actions.

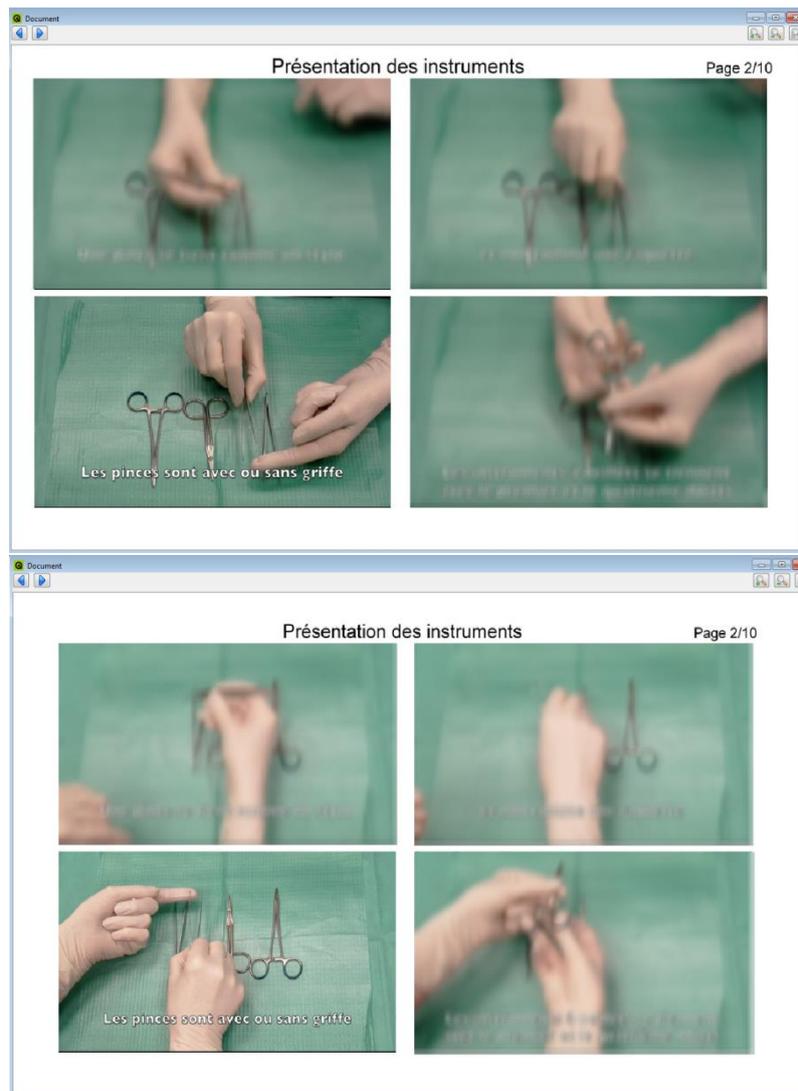


Figure 31. Photographies montrant les prérequis dans TIP-EXE, présentés selon le point de vue hétérocentré (en haut) et égo-centré (en bas). L'image en bas à gauche est activée (nette).

#### 2.2.2.1.2. Matériel de présentation

Les instructions étaient présentées à l'aide du logiciel TIP-EXE, de la même façon que dans l'expérience 2.

#### 2.2.2.2. Matériel chirurgical et de simulation

Le matériel chirurgical et de simulation était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes : (1) un porte-aiguille, (2) une pince à griffes, (3) une pince sans griffes, (4) des ciseaux, (5) un sachet qui contenait un fil serti d'une aiguille et (6) une peau synthétique.

#### 2.2.2.3. Matériel de recueil de données

Comme dans l'expérience précédente, afin d'évaluer l'apprentissage des participants, différents types d'outils de mesure ont été utilisés : (1) le logiciel TIP-EXE (Ganier & Querrec, 2012), pour le recueil des mesures chronométriques du comportement, (2) des échelles de

qualité du geste technique, et (3) des questionnaires portant sur la satisfaction et la confiance en soi des participants.

#### **2.2.2.3.1. Mesures chronométriques**

Le logiciel TIP-EXE (Ganier & Querrec, 2012), à l'aide duquel étaient présentées les instructions, servait à recueillir des mesures chronométriques et comportementales des participants.

Les mesures chronométriques et comportementales étaient destinées à examiner le déroulement de l'apprentissage du geste technique et à vérifier son acquisition. Elles correspondaient (1) à la durée d'exposition en lecture des instructions ou durée de consultation des instructions, qui désignait la durée d'affichage des instructions par les participants, (2) à la durée d'exécution du geste, qui désignait la durée pendant laquelle les participants ne visionnaient pas les instructions, (3) à la durée de réalisation de la procédure, qui correspondait à la somme des deux durées précédentes, et (4) au nombre d'alternances entre consultation et exécution.

#### **2.2.2.3.2. Questionnaires et échelles**

Deux échelles étaient utilisées pour évaluer les aptitudes visuo-spatiales concernées. Le test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978), étalonné et adapté en langue française par Albaret et Aubert (1996), était utilisé pour évaluer les aptitudes à la rotation mentale des participants (Annexe 8). Ce test est noté sur une échelle de 0 à 40, 0 étant le score le plus bas et 40 le score le plus élevé. Le test de prise de perspective/orientation spatiale (Hegarty & Waller, 2004), traduit en français par nos soins, était utilisé pour évaluer les aptitudes à la prise de perspective (Annexe 9). Ce test est noté en évaluant la moyenne de la déviation en degrés entre les réponses du participant et la bonne réponse sur chacun des 12 items. La déviation la plus faible étant 0° et la plus élevée 180°, une déviation élevée correspond à une faible aptitude à la prise de perspective et une faible déviation à une forte aptitude.

Les échelles utilisées pour noter la qualité des points de suture étaient l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs à ne pas commettre (Annexe 1 et Annexe 2), précédemment utilisées dans les expériences 1 et 2. Les deux questionnaires administrés aux participants, pré- et post-expérience (Annexe 3 et Annexe 4), étaient également similaires à ceux utilisés dans les expériences 1 et 2.

L'échelle NASA-TLX (*National Aeronautics and Space Administration Task Load index*) élaborée par Hart et Staveland, (1988) était utilisée pour évaluer la charge de travail demandée par la tâche (Annexe 5). Cette échelle était administrée via le logiciel Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008). Cette échelle est considérée comme étant non seulement l'une des mesures subjectives les plus sensibles, mais également comme l'une des plus fiables (Hill et al., 1992).

### **2.2.3. Procédure**

L'expérience était réalisée individuellement avec chaque participant. Deux sessions étaient prévues. La première durait environ une heure et demie et la seconde de quinze à trente minutes. La première session servait à l'apprentissage et à l'entraînement de la procédure de point de suture. La seconde servait à évaluer l'acquisition de la procédure, une semaine après la première session.

Durant la première session, les participants étaient placés devant le matériel expérimental, qui comprenait le matériel chirurgical et l'ordinateur sur lequel ils consultaient les instructions. Les participants pouvaient consulter les instructions à leur rythme et aussi longtemps qu'ils le désiraient pour que la situation soit la plus écologique possible.

La session était divisée en plusieurs parties. Tout d'abord le participant complétait le premier questionnaire, destiné à recueillir les données socio-démographiques et celles qui concernaient la confiance en soi dans la réalisation du point de suture. Une démonstration permettait d'abord à l'expérimentateur de présenter les consignes de l'expérience et d'expliquer l'utilisation du logiciel TIP-EXE. Les participants pouvaient ensuite se familiariser avec l'utilisation du logiciel lors de la consultation des prérequis. Ils avaient également accès à des informations concernant le matériel, l'installation de l'aiguille sur le porte-aiguille et certaines erreurs à éviter. Les participants pouvaient poser autant de questions qu'ils le désiraient, manipuler les instruments chirurgicaux pour se familiariser avec leur utilisation et consulter les instructions aussi souvent et aussi longtemps qu'ils le voulaient. Ils étaient informés qu'ils n'auraient plus accès à ces informations lorsque l'expérience commencerait.

La partie expérimentale suivait. Durant celle-ci, les participants avaient accès aux instructions qui détaillaient la procédure pour réaliser un point de suture. Ils pouvaient consulter ces instructions aussi longtemps qu'ils le souhaitaient mais ne pouvaient plus

poser de questions à l'expérimentateur. Cette étude avait pour objectif de rester au plus proche d'une certaine validité écologique. Pour cela, elle s'inscrivait dans un paradigme permettant de respecter le phénomène d'atomisation de l'action observé par Vermersch (1985). Les participants pouvaient alterner comme ils le souhaitaient entre consultation des instructions et exécution des actions. Pendant et après chaque essai, l'expérimentateur évaluait la qualité du geste et du point de suture avec l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs. Après chaque essai, l'expérimentateur vérifiait que le participant n'avait pas eu de difficulté à comprendre les instructions et le vocabulaire utilisés.

Après la réalisation du premier point de suture, les participants renseignaient l'échelle NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) présentée avec le logiciel Tholos (Annexe 5), puis pouvaient continuer à s'entraîner jusqu'à avoir réalisé cinq points de suture.

À la fin de l'entraînement, après avoir effectué cinq points de suture, les participants réalisaient le test de rotation mentale (Vandenberg & Kuse, 1978, Annexe 8) et le test de prise de perspective/orientation spatiale (Hegarty & Waller, 2004, Annexe 9).

Lors d'une deuxième session, une semaine plus tard, les participants devaient réaliser 3 points de suture sans l'aide d'instructions. Pendant et après chaque essai, l'expérimentateur évaluait la qualité du geste et du point de suture avec l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs. L'expérimentateur chronométrait également la durée d'exécution de chaque point de suture. Après la réalisation des 3 points, les participants devaient compléter le questionnaire post-expérience puis un débriefing portant sur l'ensemble de l'expérience était proposé au participant.

### **2.3. Résultats**

L'analyse des résultats porte d'abord sur les mesures comportementales (durée de réalisation de la procédure, durée de consultation des instructions et durée d'exécution du geste), et les mesures de qualité (nombre d'erreurs et score OSATS) pour les cinq essais. Elle se concentre ensuite sur les mesures comportementales fines (nombre d'alternances entre consultation et exécution). Les effets des aptitudes visuo-spatiales sont ensuite analysées pour étudier leur effet sur l'apprentissage. Cette section de l'analyse vise à déterminer si la facilité de traitement de l'information présentée dans une perspective hétérocentrée est liée aux aptitudes visuo-spatiales. Enfin, l'analyse traite les évaluations subjectives sur la

confiance en soi, la compétence, l'intérêt, la facilité et les bénéfices de l'apprentissage perçus des étudiants avant et après la réalisation de l'expérience.

Toutes les mesures chronométriques sont présentées en minutes et centièmes.

Les données brutes récoltées lors de cette expérience sont disponibles en ligne (Jannin, 2020c).

### 2.3.1. Durée de réalisation de la procédure

#### 2.3.1.1. Effet du nombre d'essais

Les mesures chronométriques liées à la durée de réalisation de la procédure présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage (Figure 32). Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure sur les deux sessions :  $F(7,301) = 117,86$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,733$ .

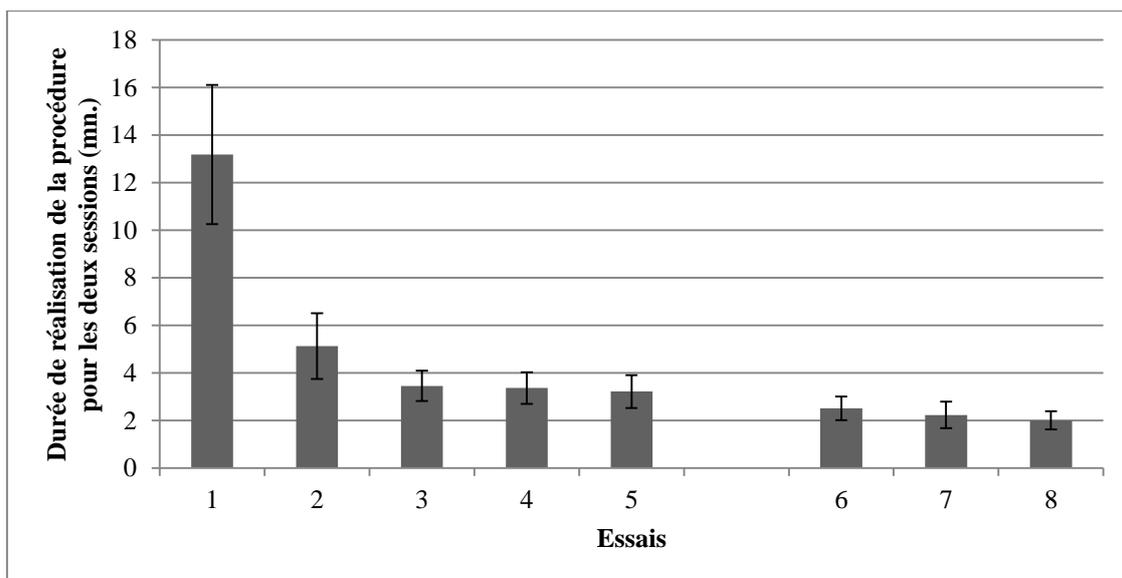


Figure 32. Durée de réalisation de la procédure pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types.

Pour la première session, la durée totale de réalisation est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième, puis plus régulièrement au fil des répétitions et semble se stabiliser aux essais 4 et 5. Les étudiants mettent en moyenne 13,18mn ( $\sigma = 5,46$ ) pour réaliser la procédure la première fois et 5,13mn ( $\sigma = 2,76$ ) la deuxième fois. La troisième réalisation de la procédure prend en moyenne 3,45mn ( $\sigma = 1,28$ ). Pour les deux derniers essais, les durées de réalisation sont presque identiques avec une moyenne de 3,37mn ( $\sigma = 1,32$ ) pour le quatrième et de 3,22mn ( $\sigma = 1,38$ ) pour le cinquième. Lors de la deuxième

session, la durée de réalisation continue à diminuer légèrement. Au sixième essai, les étudiants mettent en moyenne 2,51mn ( $\sigma = 1,00$ ) à réaliser la procédure et 2,23mn ( $\sigma = 1,12$ ) au septième essai. La huitième réalisation de la procédure prend en moyenne 2,01mn ( $\sigma = 0,77$ ).

La diminution de la durée de réalisation a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 7. La durée de réalisation diminue de 8,05mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,43) = 81,57$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 1,67mn :  $F(1,43) = 21,99$ ;  $p < .001$ . La diminution de la durée de réalisation n'est pas significative entre l'essai 3 et l'essai 4 (0,09mn), ni entre l'essai 4 et l'essai 5 (0,15mn). Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances sur la première session. De l'essai 5 à l'essai 6, la durée de réalisation recommence à diminuer (de 0,70mn) :  $F(1,43) = 13,07$ ;  $p < .001$ . La durée de réalisation diminue de 0,28mn de l'essai 6 à l'essai 7 :  $F(1,43) = 4,76$ ;  $p = .034$ . La diminution n'est plus significative entre l'essai 7 et l'essai 8 (0,23mn). Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances sur la fin de la session.

#### 2.3.1.2. Interaction entre le nombre d'essais et le point de vue de présentation des instructions

La durée de réalisation de la procédure diminue entre le sixième et le septième essai pour les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue hétérocentré, alors qu'elle augmente légèrement pour les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue égocentré. Une analyse de variance (ANOVA) montre une interaction entre le point de vue de présentation des instructions sur la durée de réalisation de la procédure à la deuxième session:  $F(2,86) = 6,45$  ;  $p = .002$ ,  $\eta^2 = 0,130$  (Figure 33).

Les résultats ne montrent pas d'interaction entre les deux groupes sur la première session.

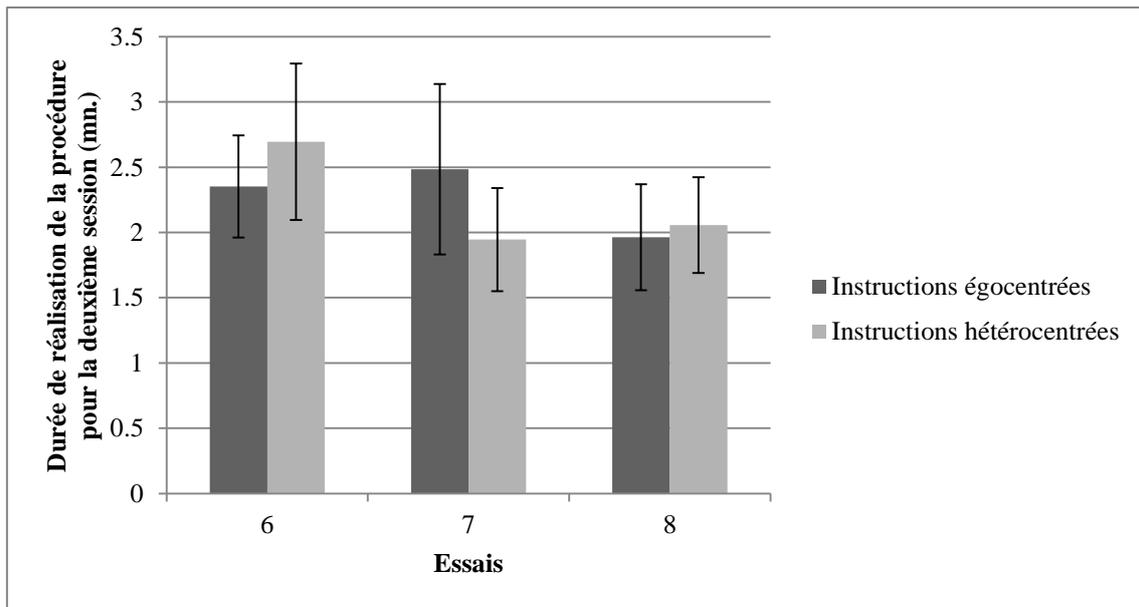


Figure 33. Durée de la réalisation de la procédure pour la deuxième session en fonction du point de vue. Les barres représentent les écarts-types.

Les comparaisons analytiques par paires ne montrent de différence significative entre les deux groupes sur aucun des essais.

Une analyse par contrastes montre cependant qu'entre l'essai 6 et l'essai 7, la durée de réalisation de la procédure diminue de 0.75mn pour les participants ayant été confrontés aux instructions égocentrées, alors qu'elle augmente de 0.13mn pour les participants ayant été confrontés aux instructions hétérocentrées :  $F(1,43) = 4.77$ ;  $p = .034$ . La différence de progression n'est plus significative du septième au huitième essai. Les participants ayant consulté les instructions égocentrées ont une durée de réalisation (1.96) similaire aux participants ayant consulté les instructions hétérocentrées (2.06) à l'essai 8.

### 2.3.2. Durée de consultation des instructions

#### Effet du nombre d'essais

La durée de consultation des instructions diminue au fil des essais lors de la première session (Figure 34). Elle est très élevée au premier essai et diminue fortement jusqu'au troisième essai pour lequel il n'y a presque plus de consultation. Les participants mettent en moyenne 4,38mn ( $\sigma = 2,03$ ) au premier essai et 0,21mn ( $\sigma = 0,31$ ) au deuxième essai. Pour les trois derniers essais, les participants ne consultent presque pas les instructions. Ils consultent les instructions 0,01mn ( $\sigma = 0,03$ ) pour le troisième et le quatrième essai. Il n'y a aucune consultation pour le cinquième essai. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet

significatif du nombre d'essais sur la durée de consultation des instructions :  $F(4,172) = 200,91$  ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,824$ .

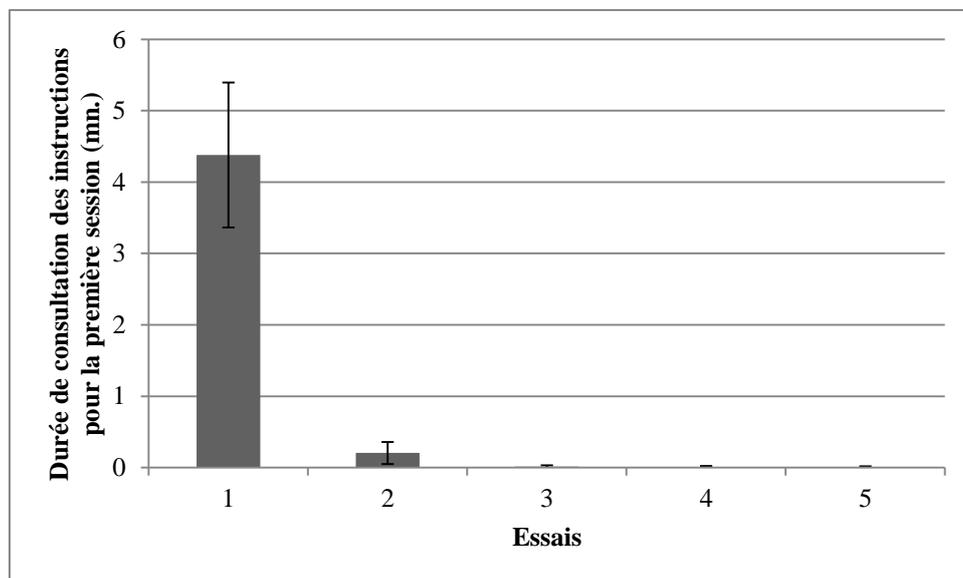


Figure 34. Durée de consultation des instructions pour la première session. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution de la durée de consultation des instructions a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires (analyses par contrastes). Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 3. La durée de consultation diminue de 4,17mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,43) = 189,09$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,19mn :  $F(1,43) = 17,23$ ;  $p < .001$ . La différence s'estompe entre l'essai 3 et l'essai 4, la consultation étant anecdotique.

Lors de la deuxième session les participants ne consultent pas du tout les instructions.

Aucun autre effet n'est significatif.

### 2.3.3. Durée d'exécution du geste

#### Effet du nombre d'essais

Les mesures chronométriques liées à la durée d'exécution du geste présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage (Figure 35). Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée d'exécution du geste sur les deux sessions :  $F(7,301) = 66,02$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,606$ .

Lors de la deuxième session, les participants ne consultant plus les instructions, la durée d'exécution du geste correspond à la durée de réalisation de la procédure.

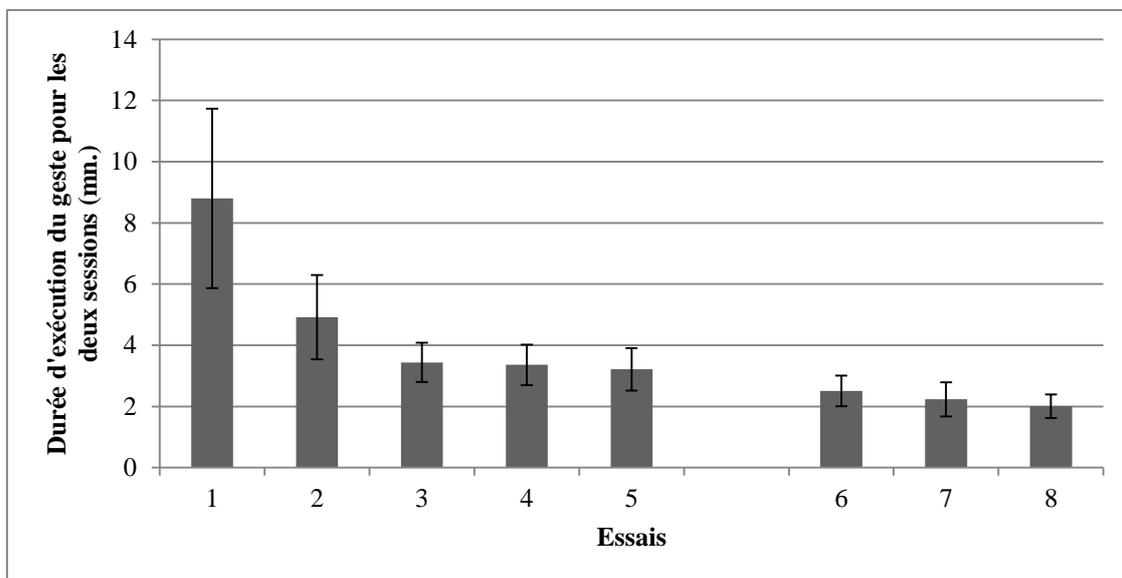


Figure 35. Durée d'exécution du geste pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types.

La durée d'exécution du geste diminue au fil des essais de la première session. Les participants mettent en moyenne 8,80mn ( $\sigma = 4,36$ ) pour réaliser leur premier point de suture et 4,92mn ( $\sigma = 2,70$ ) la deuxième fois. La troisième exécution du geste leur prend en moyenne 3,44mn ( $\sigma = 1,27$ ). Pour les deux derniers essais, les durées d'exécution du geste sont presque identiques avec une moyenne de 3,36mn ( $\sigma = 1,31$ ) pour le quatrième et de 3,21mn ( $\sigma = 1,38$ ) pour le cinquième essai. Lors de la deuxième session, la durée de réalisation continue à diminuer légèrement. Au sixième essai, les étudiants mettent en moyenne 2,51mn ( $\sigma = 1,00$ ) à réaliser la procédure et 2,23mn ( $\sigma = 1,12$ ) au septième essai. La huitième réalisation de la procédure prend en moyenne 2,01mn ( $\sigma = 0,77$ ).

La diminution de la durée d'exécution du geste et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 7. La durée d'exécution diminue de 3,88mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,43) = 32,57$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 1,48mn :  $F(1,43) = 18,10$  ;  $p < .001$ . La différence n'est plus significative ni entre l'essai 3 et l'essai 4 (0,08mn), ni entre l'essai 4 et l'essai 5 (0,15mn). Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances sur la première session. De l'essai 5 à l'essai 6, la durée de réalisation

recommence à diminuer (de 0,70mn) :  $F(1,43) = 13,00$ ;  $p < .001$ . La durée de réalisation diminue de 0.28mn de l'essai 6 à l'essai 7 :  $F(1,43) = 4,78$ ;  $p = .034$ . La diminution n'est plus significative entre l'essai 7 et l'essai 8 (0,23mn). Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances sur la fin de la session.

Aucun autre effet n'est significatif.

### **2.3.4. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions**

#### **Effet du nombre d'essais**

Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5 (Figure 36). Les étudiants alternent en moyenne 52,60 fois ( $\sigma = 24,73$ ) entre la consultation et l'exécution au premier essai et 4,58 fois ( $\sigma = 6,01$ ) au deuxième. Au troisième essai les étudiants alternent 0,82 fois ( $\sigma = 1,68$ ) et 0,36 fois ( $\sigma = 1,45$ ) au quatrième. Ils ne consultent plus les instructions au cinquième essai. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure :  $F(4,172) = 188,49$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,815$ .

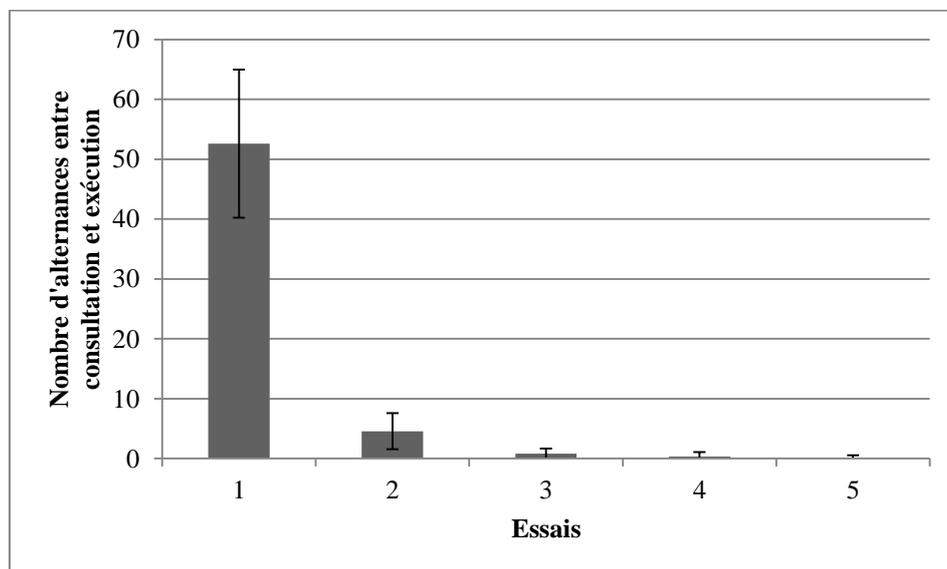


Figure 36. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types

La diminution du nombre d'alternances a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires (analyses par contrastes). Celles-ci montrent des différences significatives de

l'essai 1 à l'essai 4. Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste diminue de 48,02 de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,43) = 169,83$ ;  $p < .001$ . Cette diminution est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 3,76 :  $F(1,43) = 18,91$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,47 :  $F(1,43) = 5,75$ ;  $p = .021$ . La différence entre l'essai 4 et l'essai 5 n'est pas significative, les apprenants ne consultant presque plus les instructions.

Aucun autre effet n'est significatif.

### 2.3.5. Nombre d'erreurs

#### 2.3.5.1. Effet du nombre d'essais

Le nombre d'erreurs commises par les participants diminue au fil des essais lors de la première session, puis le nombre d'erreurs augmente lors de la deuxième session (Figure 37). Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le nombre d'erreurs :  $F(7,301) = 5,06$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,105$ .

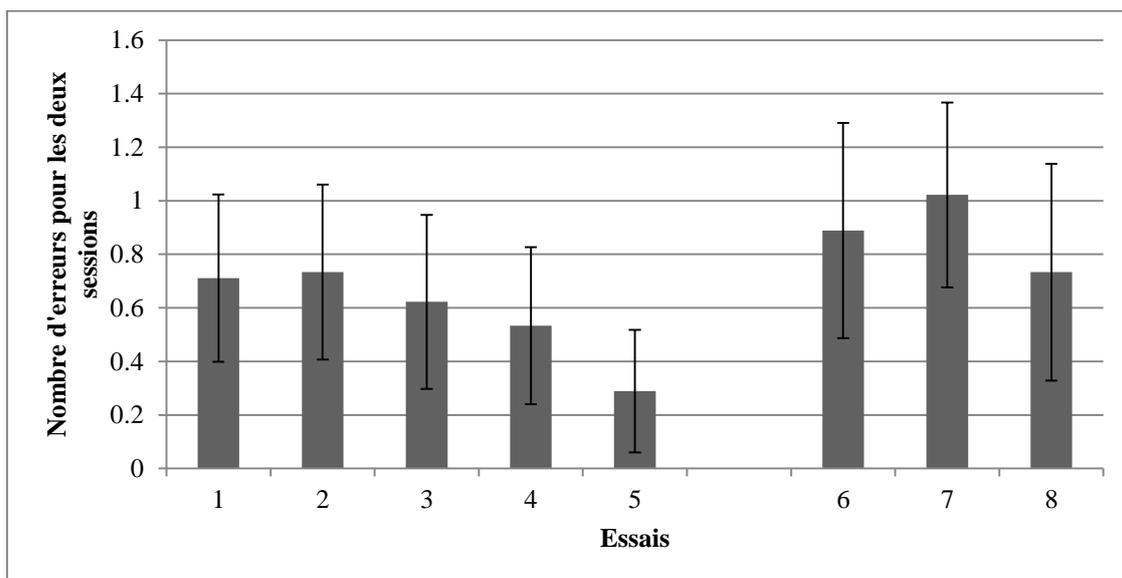


Figure 37. Nombre d'erreurs pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types.

Lors de la première session, les participants ont un nombre d'erreurs moyen de 0,71 ( $\sigma = 0,63$ ) au premier essai. Il augmente très légèrement au deuxième essai de 0,73 ( $\sigma = 0,65$ ), pour diminuer, passant à 0,62 ( $\sigma = 0,65$ ) au troisième essai, à 0,53 ( $\sigma = 0,59$ ) au quatrième et à 0,29 ( $\sigma = 0,46$ ) au cinquième. Le nombre d'erreurs augmente au début de la deuxième session passant à 0,89 au sixième essai, puis à 1,02 au septième essai. Il recommence à diminuer au huitième essai avec un nombre d'erreurs moyen de 0,73.

Des comparaisons par paires ont été effectuées. Elles montrent que le nombre d'erreurs diminue significativement (de 0,24) de l'essai 4 à l'essai 5 :  $F(1,43) = 5,47$ ;  $p = .024$ . La différence s'estompe sur les autres essais. Il augmente significativement entre l'essai 5 et 6 (de 0,60) :  $F(1,43) = 23,96$ ;  $p < .001$ . Les différences entre les autres essais ne sont pas significatives.

On peut cependant remarquer une différence significative entre la première (essais 1 à 5) et la deuxième session (essai 6 à 8) :  $F(1,43) = 9,87$ ;  $p = .003$ .

#### **2.3.5.2. Effet du point de vue des instructions**

Pour la première session, les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue égocentré ont un nombre d'erreurs moins élevé en moyenne ( $m = 0,48$  ;  $\sigma = 0,22$ ) que les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue hétérocentré ( $m=0,70$  ;  $\sigma = 0,19$ ). Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du point de vue sur le nombre d'erreurs à la première session :  $F(1,43) = 4,68$  ;  $p = .036$ ,  $\eta^2 = 0,098$ .

Les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les deux groupes sur la deuxième session.

#### **2.3.6. Score OSATS**

##### **Effet du nombre d'essais**

La Figure 38 montre que le nombre d'essais a un effet sur le score OSATS. Celui-ci augmente lors de la première session, présentant l'allure d'une courbe d'apprentissage. Il diminue légèrement au début de la seconde session avant de continuer son augmentation. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le score à l'échelle OSATS sur les deux sessions :  $F(4,172) = 220,28$  ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,837$ .

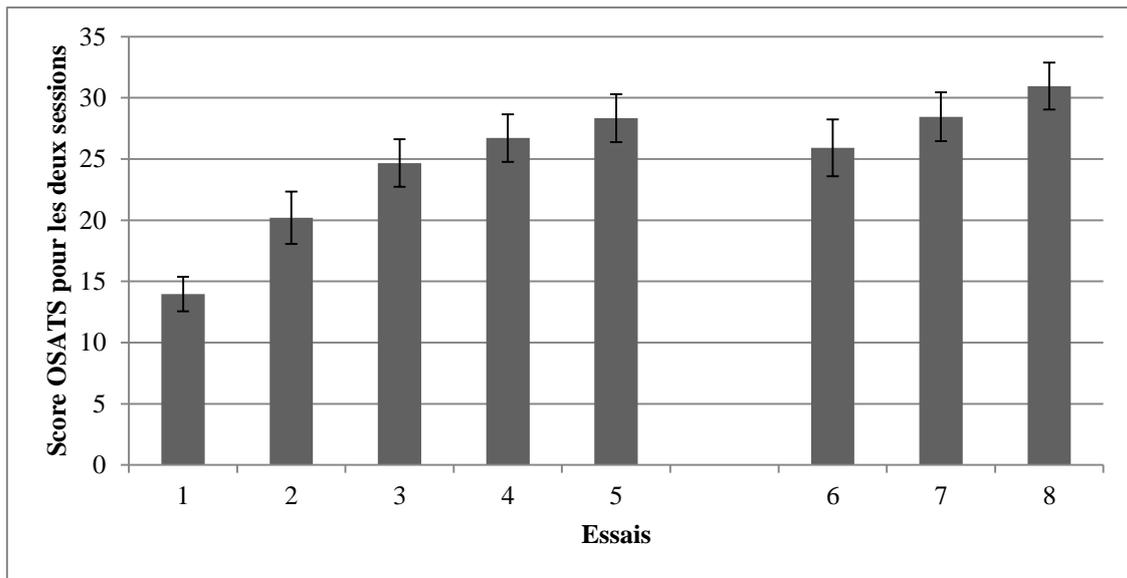


Figure 38. Score OSATS pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types.

La qualité des points de suture augmente au fil des essais de la première session. Les participants obtiennent un score OSATS moyen de 13,96 ( $\sigma = 2,82$ ) au premier essai et de 20,20 ( $\sigma = 4,28$ ) au deuxième. Les scores continuent d'augmenter pour les trois derniers essais de la première session, passant de 24,67 points ( $\sigma = 3,88$ ) pour le troisième essai, à 26,71 points ( $\sigma = 3,90$ ) au quatrième et 28,33 points ( $\sigma = 3,90$ ) au cinquième. Au début de la deuxième session, le score OSATS diminue légèrement par rapport à la première session, les participants ayant un score OSATS moyen de 25,91 ( $\sigma = 4,62$ ) au sixième essai. Le score OSATS recommence à augmenter au septième essai, avec un score de 28,44 ( $\sigma = 3,99$ ). Au huitième essai le score OSATS est de 30,96 ( $\sigma = 3,85$ ).

L'amélioration de la qualité des points de suture a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 8. Le score OSATS augmente de 6,24 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,43) = 122,53$ ;  $p < .001$  et de 4,47 points de l'essai 2 à l'essai 3 :  $F(1,43) = 97,52$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une augmentation de 2,04 points :  $F(1,43) = 18,68$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une augmentation de 1,62 points :  $F(1,43) = 10,63$ ;  $p = .002$ . Au début de la deuxième session (essai 6), le score OSATS diminue de 2,42 points par rapport à l'essai 5 :  $F(1,43) = 7,62$ ;  $p < .001$ . La qualité des points recommence à augmenter aux essais suivants, dépassant les scores de la première session. Le score OSATS augmente de 2,53 points de l'essai 6 à

l'essai 7 :  $F(1,43) = 24,39$ ;  $p < .001$  ; et de 2,51 points de l'essai 7 à l'essai 8 :  $F(1,43) = 29,46$ ;  $p < .001$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

### **2.3.7. Effet des aptitudes visuo-spatiales**

Cette section vise à vérifier que les aptitudes à la rotation mentale et à la prise de perspective facilitent le traitement de l'information et que la capacité de traitement de l'information dans une perspective hétérocentrée peut être liée aux aptitudes visuo-spatiales. Si tel est le cas, de meilleures performances devraient être corrélées avec des scores de rotation mentale plus élevés et des scores de prise de perspective plus faibles, surtout chez les participants confrontés aux instructions hétérocentrées.

Afin d'étudier la relation entre les aptitudes visuo-spatiales et les différentes mesures comportementales, des analyses de corrélation (Spearman R) ont été effectuées. Puis, pour étudier la relation entre les aptitudes visuo-spatiales et la perspective des instructions, les deux groupes d'instructions ont été séparés et une analyse de corrélation (Spearman R) a été réalisée pour chaque groupe.

#### **2.3.7.1. Aptitude à la rotation mentale et aptitude à la prise de perspective**

L'analyse de corrélation révèle une corrélation négative entre le score de prise de perspective et le score OSATS moyen ( $r = -0,34$ ;  $p < .05$ ) et entre le score de perspective et le score OSATS de la deuxième session ( $r = -0,35$ ;  $p < .05$ ). Il n'y a pas de corrélation spécifique sur la 1<sup>ère</sup> session.

Elle révèle des corrélations positives entre l'aptitude à la rotation mentale et le score OSATS moyen ( $r = 0,33$ ;  $p < .05$ ) et entre l'aptitude à la rotation mentale et le score OSATS de la deuxième session ( $r = 0,38$ ;  $p < .01$ ). L'analyse révèle également une corrélation positive entre le score de prise de perspective et la durée de réalisation pour la seconde session ( $r = 0,39$ ;  $p < .01$ ), mais pas sur la première session ni sur la durée de réalisation moyenne.

#### **2.3.7.2. Relation entre le point de vue des instructions et les aptitudes visuo-spatiales**

Pour le groupe qui consultait les instructions égocentrées, l'analyse de corrélation ne révèle aucune corrélation entre les aptitudes visuo-spatiales (rotation mentale ou prise de perspective) et le point de vue des instructions.

Pour le groupe qui consultait les instructions hétérocentrées, l'analyse de corrélation révèle une corrélation négative entre l'aptitude à la prise de perspective et le score OSATS moyen ( $r = -0,48$ ;  $p < .05$ ). Pour la deuxième session, elle révèle également des corrélations positives d'une part entre l'aptitude à la prise de perspective et la durée de réalisation ( $r = 0,46$ ;  $p < .05$ ) et d'autre part entre l'aptitude à la rotation mentale et le score OSATS ( $r = 0,55$ ;  $p < .01$ ). L'analyse de corrélation montre également une corrélation négative entre l'aptitude à la rotation mentale et la durée de réalisation pour la deuxième session ( $r = -0,44$ ;  $p < .05$ ).

### **2.3.8. Évaluations subjectives de l'apprentissage**

Les participants notent leur confiance en soi pour la réalisation d'un point de suture dans une situation simulée de façon significativement plus élevée après l'entraînement en simulation (4,33 ;  $\sigma = 0,61$ ) qu'avant (3,09 ;  $\sigma = 1,24$ ) :  $F(1,40) = 41,92$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,506$ . La confiance en soi pour réaliser un point de suture dans une situation réelle augmente également après la simulation (2,73 ;  $\sigma = 0,82$ ) comparativement à avant celle-ci (1,66 ;  $\sigma = 0,86$ ) :  $F(1,40) = 51,73$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,552$ ; ainsi que leur compétence perçue entre avant (2,09 ;  $\sigma = 0,96$ ) et après (3,20 ;  $\sigma = 0,63$ ):  $F(1,40) = 63,12$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,600$ . Pour les trois items qui évaluent l'intérêt perçu de l'exercice la moyenne des scores est de 4,93 ( $\sigma = 0,09$ ) sur 5. La facilité d'apprentissage perçue est notée 3,41 ( $\sigma = 0,66$ ) sur 5 en moyenne. Pour les deux items qui concernent les bénéfices perçus de l'apprentissage la moyenne des scores est de 4,97 ( $\sigma = 0,04$ ) sur 5.

La mesure de la charge de travail évaluée grâce à l'échelle NASA-TLX, est plus élevée pour les participants en condition hétérocentrée (58,45) que pour les participants en condition égocentrée (53,15). Cependant cette différence n'est pas significative ( $p > .05$ ).

Aucun autre effet n'est significatif.

## **2.4. Discussion**

Cette étude s'intéressait à l'impact du point de vue de présentation des instructions sur l'apprentissage d'un geste technique. Le but principal était de déterminer si le point de vue de présentation des instructions avait une influence sur l'apprentissage. Il s'agissait d'examiner si le point de vue hétérocentré, par opposition au point de vue égocentré, nécessitait des apprenants une transformation mentale de l'image, et si cette

transformation était susceptible de conduire à une augmentation de la charge cognitive. Par ailleurs, cette transformation pourrait nécessiter l'utilisation des aptitudes visuo-spatiales des apprenants et par conséquent pénaliser les apprenants présentant des aptitudes visuo-spatiales plus faibles. Deux résultats principaux ont été produits. Comme pour les études précédentes, le préalable aux analyses était de vérifier que les participants se trouvaient bien dans une situation d'apprentissage procédural. Nous avons donc confirmé la validité interne de la situation d'apprentissage de geste technique par simulation (Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017), qui correspond à l'amélioration des performances confirmant l'apprentissage de la procédure chez les participants. Le deuxième résultat se rapporte à l'effet du point de vue des instructions et des aptitudes visuo-spatiales de l'apprenant sur l'apprentissage procédural.

#### ***2.4.1. Vérification de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure***

Pour cette étude, il avait été supposé que l'entraînement aurait un effet positif sur les performances et sur les mesures subjectives, et que les performances se maintiendraient lors de la deuxième session. Une troisième hypothèse était que l'apprentissage, qui découle des répétitions de la procédure, serait visible à travers l'étude de l'atomisation de l'action, reflétant le passage d'une phase déclarative à une phase de compilation des connaissances.

Les résultats de cette étude font apparaître, comme pour les expériences précédentes, que les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage. Les résultats montrent une diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste et, donc de la durée totale de réalisation de la tâche. Les résultats font également apparaître l'amélioration de la qualité des points de suture évaluée par le score OSATS et la diminution du nombre d'erreurs. Par ailleurs, la confiance en soi et la compétence perçue des apprenants augmentent significativement au fil des essais, montrant que les apprenants ont conscience de l'amélioration de leurs performances. Comme lors des expériences précédentes, il est possible de mettre en évidence, grâce au nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions, le passage d'une phase déclarative de l'apprentissage procédural, caractérisée par un recours systématique aux instructions, à une phase de compilation des connaissances. En effet, les apprenants alternent plus de cinquante fois entre les instructions et l'exécution sur le

premier essai, alors que les documents qui présentent la procédure ne comportent que 16 étapes. Lors des essais suivants, le nombre d'alternances est plus faible que le nombre d'étapes.

Les résultats font apparaître que, lors de la deuxième session, le temps de réalisation continue à diminuer. Au début de la deuxième session (essai 6), la qualité des points de suture, mesurée par le score OSATS diminue légèrement par rapport à la première session, mais recommence à augmenter dès le septième essai. Les étudiants n'ont pas consulté une seule fois les instructions lors de la deuxième session. À partir d'une première session d'une heure et demie, les étudiants ont *compilé* les informations déclaratives des instructions en connaissances procédurales et n'ont plus besoin de consulter les instructions pour réaliser la procédure. Leurs performances lors de la deuxième session font apparaître que les apprenants ont stocké la procédure en mémoire à long terme. Même si les scores OSATS se sont légèrement dégradés après une semaine, ceux-ci sont restaurés rapidement. Ces résultats semblent confirmer que l'utilisation combinée de l'apprentissage en ligne et de la simulation à des fins d'apprentissage procédural permet, par la répétition, d'améliorer la qualité et la rapidité d'une procédure. L'apprentissage se maintient dans le temps et après une semaine, les étudiants peuvent réaliser des performances similaires à celles de la première session. Le fait que la qualité des points de suture diminue légèrement au début de la deuxième session pourrait signifier que les apprenants n'ont pas complètement automatisé la procédure, et que des sessions d'apprentissage supplémentaires sont nécessaires pour atteindre un niveau suffisant permettant de pratiquer le geste sur des patients. Une étude de Boucheix (2015) a en effet montré que l'acquisition d'une connaissance procédurale par un entraînement nécessite une pratique répétée. Une pratique unique, lors d'une seule séance de simulation n'est pas adaptée à l'entraînement des apprenants novices. En effet, ceux-ci n'auraient pas le temps d'acquérir complètement les connaissances procédurales. La mémorisation et l'acquisition des connaissances procédurales nécessitent généralement un grand nombre de répétitions (Anderson, 2013; Boucheix, 2015; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). La répétition permet d'acquérir des automatismes, et cette intégration d'automatismes permet à l'individu de gagner en efficacité. En contexte d'urgence cette efficacité s'avère très utile car les processus et connaissances procédurales automatisés se déclenchent de façon autonome, rapide et avec

un coût cognitif très faible (Policard, 2018). Ce sont ces automatismes qui reviennent instantanément en situation de crise et permettent de maîtriser la situation ou de reprendre le contrôle de soi (Dubey, 1997). La légère diminution des performances au début de la deuxième séance fait apparaître que les 5 essais de la première séance n'ont pas été suffisants pour mémoriser et automatiser la procédure. Les situations de simulation doivent donc être conçues de façon à ce que plusieurs séances puissent être prévues dans le cursus.

#### **2.4.2. Effet du point de vue et des aptitudes visuo-spatiales**

Pour cette étude, il avait été supposé que le point de vue égocentré faciliterait l'apprentissage de la procédure comparativement au point de vue hétérocentré. Il avait été également supposé que les aptitudes visuo-spatiales (l'aptitude à la rotation mentale et l'aptitude à la prise de perspective) pourraient faciliter le traitement des instructions hétérocentrées.

Les résultats de cette expérience ne montrent aucune différence entre les deux points de vue pour ce qui concerne la durée de consultation des instructions, les scores OSATS, et la durée de réalisation de la procédure lors de la première session. En revanche, les résultats font apparaître que les participants confrontés aux instructions égocentrées commettent en moyenne moins d'erreurs que les participants confrontés aux instructions hétérocentrées. Cela semble valider l'hypothèse que les instructions égocentrées facilitent l'apprentissage de la procédure.

Nous avons également mis en évidence que le point de vue des instructions interagissait avec le nombre d'essais. En effet, la durée de réalisation de la procédure est plus courte lors du premier essai de la deuxième session, le 6<sup>ème</sup> essai, pour les participants préalablement confrontés au point de vue égocentré. Tandis que la durée de réalisation de la procédure diminue plus fortement chez les participants confrontés au point de vue hétérocentré entre le sixième et le septième essai. Au septième point de suture, les participants du groupe hétérocentré prennent moins de temps pour réaliser la procédure que les participants du groupe égocentré. Les performances des deux groupes sont similaires sur le dernier essai. Ces différences de durée de réalisation de la procédure ne permettent pas de déterminer le point de vue le plus avantageux pour l'apprentissage d'une procédure. Cependant, ces résultats permettent de mettre en évidence des différences de performances entre les

groupes qui peuvent refléter des différences induites par le traitement préalable des instructions, lors de la première session. Ces différences possibles de traitement entre les participants confrontés aux instructions hétérocentrées et les participants confrontés aux instructions égocentrées pourraient être dues à une nécessité de transformation mentale induite par les instructions hétérocentrées.

Si cela est le cas, cette transformation mentale devrait augmenter la charge de travail des participants, ce qui pourrait causer ces différences entre les deux groupes. Or, l'analyse des résultats de l'échelle NASA-TLX, montre que le score de charge de travail était plus élevé pour les participants en condition instructions hétérocentrées que pour les participants en condition instructions égocentrées. Cependant cette différence n'est pas significative.

Les résultats font également apparaître que les participants ayant des aptitudes visuo-spatiales plus élevées atteignent de meilleurs niveaux de performance que ceux ayant de faibles aptitudes, quel que soit le point de vue des instructions. En effet, une bonne aptitude à la prise de perspective était corrélée avec des scores OSATS élevés et une durée de réalisation plus courte lors de la deuxième session. De bonnes aptitudes de rotation mentale étaient également corrélées avec de meilleurs scores OSATS. Il semble que de bonnes aptitudes visuo-spatiales peuvent faciliter le processus d'apprentissage du point de suture, comme cela a déjà été montré sur d'autres gestes chirurgicaux (Keehner et al., 2004; Wanzel, Hamstra, Anastakis, Matsumoto & Cusimano, 2002; Wanzel et al., 2003).

Nous avons supposé que les performances des participants confrontés aux instructions hétérocentrées pourraient être liées à leurs aptitudes visuo-spatiales. Dans ce cas, de faibles aptitudes visuo-spatiales seraient corrélées avec de faibles performances lors de l'apprentissage médié par des instructions hétérocentrées, alors que cela ne serait pas le cas lors de l'apprentissage médiatisé par des instructions égocentrées. Les résultats font apparaître que dans le groupe égocentré les aptitudes visuo-spatiales ne sont pas corrélées avec les performances des apprenants. Il semble donc que l'utilisation d'instructions égocentrées ne nécessite pas de bonnes aptitudes visuo-spatiales. Dans le groupe hétérocentré cependant, une bonne aptitude à la prise de perspective est corrélée avec de meilleurs scores OSATS et une durée de réalisation plus courte lors de la deuxième session. De bonnes aptitudes de rotation mentale sont également corrélées avec de meilleurs scores

OSATS et une durée de réalisation plus courte lors de la deuxième session. Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse émise : le traitement d'instructions hétérocentrées est facilité pour les individus présentant de bonnes aptitudes visuo-spatiales, par rapport à des individus ayant de faibles aptitudes. La nécessité de transformer mentalement les images, pour traiter les instructions hétérocentrées compliquerait le traitement des instructions pour les individus disposant de faibles aptitudes visuo-spatiales et induirait donc de moins bonnes performances.

En ce qui concerne le nombre d'erreurs, il semble que la perspective égocentrée induise de meilleures performances. Ces résultats sont en accord avec ceux de Garland et Sanchez (2013). L'hypothèse était que le besoin de transformer mentalement l'image induirait une charge cognitive plus élevée chez les participants confrontés à des instructions hétérocentrées. Même si les participants confrontés à la perspective hétérocentrée obtiennent un score de charge cognitive supérieur à celui des participants confrontés à la perspective égocentrée, aucune différence significative ne peut être observée.

Enfin, les résultats font apparaître que les participants ayant de bonnes aptitudes visuo-spatiales ont obtenu de meilleurs résultats que ceux ayant de faibles aptitudes. Conformément aux prévisions, les résultats font apparaître que, confrontés au point de vue hétérocentré, de bonnes aptitudes visuo-spatiales sont corrélées à des sutures de meilleure qualité et à des temps d'exécution plus courts. Ce n'est pas le cas avec le point de vue égocentré. Globalement, les aptitudes visuo-spatiales semblent faciliter le traitement des instructions hétérocentrées, alors que le traitement des instructions égocentrées ne semble pas nécessiter d'aptitudes visuo-spatiales particulières. L'utilisation d'instruction égocentrées semble donc adaptée à des apprenants ayant des aptitudes visuo-spatiales hétérogènes.

### **3. Expérience 4**

Nous avons montré dans l'expérience précédente que la présentation d'instructions avec un point de vue égocentré pouvait induire des performances légèrement plus élevées que la présentation d'instructions avec un point de vue hétérocentré. Cette quatrième étude visait à approfondir le questionnement engagé sur l'effet du point de vue de présentation des instructions (expérience 3). Nous voulons vérifier que l'effet du point de vue des instructions

est plus important en comparant des apprenants disposant d'aptitudes visuo-spatiales élevées et des apprenants disposant d'aptitudes visuo-spatiales faibles, plutôt que des individus tout venant. En effet, les individus les plus affectés par le point de vue devraient être les apprenants disposant de faibles aptitudes visuo-spatiales. L'objectif de cette étude est d'adapter les instructions aux caractéristiques des apprenants pour l'apprentissage procédural. Le but principal était de déterminer quel format de présentation des instructions était le plus adapté à l'apprentissage des points de suture chez tous les étudiants en médecine, qu'ils disposent de faibles ou de fortes aptitudes visuo-spatiales.

Les résultats de l'expérience 3 ont également montré que la situation d'apprentissage est efficace à moyen terme. Le fait que les performances puissent être maintenues ou retrouvées après une semaine de délai permet de confirmer la validité interne de la situation d'apprentissage de geste technique par simulation. La présence d'une deuxième session ne semblait donc plus nécessaire pour valider la situation d'apprentissage. De plus, même si les effets des aptitudes visuo-spatiales étaient particulièrement visibles en deuxième session, l'utilisation des instructions est réalisée majoritairement lors de la phase cognitive de l'apprentissage. Il semblait donc nécessaire de concentrer le recueil de données sur les premiers essais de l'apprentissage pour comprendre l'effet du point de vue sur cette phase. Nous avons donc choisi de centrer cette nouvelle étude sur une seule session. Cette étude porte sur la présentation d'instructions multimédias et sur l'aptitude à la rotation mentale d'individus dans une perspective d'apprentissage procédural avec l'utilisation de la simulation. Les tests d'aptitudes spatiales ne sont pas toujours résolus en utilisant la stratégie prévue, ils ne sont donc pas toujours une mesure « pure » de ce qu'ils veulent mesurer (Hergarty & Waller, 2004). En effet, les tests de prise de perspective peuvent être résolus en utilisant une stratégie de rotation mentale, et inversement. Dans la mesure où les aptitudes à la prise de perspective et à la rotation mentale n'étaient pas toujours corrélées entre elles (certains individus pouvant présenter de bonnes aptitudes de rotation mentale mais de faibles aptitudes de prise de perspective et inversement) nous avons choisi de retenir uniquement une des deux aptitudes. Plusieurs études connectent l'aptitude à la rotation mentale à un apprentissage et une pratique efficaces des gestes chirurgicaux (Guillot et al., 2006 ; Risucci, 2002; Wanzel et al., 2003), nous avons donc décidé de conserver cette aptitude, car elle semblait toucher de plus près la pratique étudiée.

Le but est de déterminer si l'effet du point de vue des instructions est lié à l'aptitude à la rotation mentale, et d'examiner si de faibles aptitudes de rotation mentale chez les apprenants pourraient être la cause des performances plus faibles lors de l'utilisation d'instructions hétérocentrées. Il s'agit de déterminer le format d'instruction le plus adapté à l'apprentissage procédural, pouvant être utilisé par des individus disposants d'aptitudes visuo-spatiales différentes. Pour cela, nous comparons l'effet d'instructions présentées d'une perspective égocentrée ou hétérocentrée sur l'apprentissage du point de suture chez des étudiants en médecine ayant des aptitudes à la rotation mentale élevées ou faibles

### **3.1. Hypothèses**

En vue de confirmer la validité interne du dispositif pour l'apprentissage, nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'essais devrait avoir un effet sur la durée de consultation des instructions, sur la durée d'exécution du geste et, sur la qualité des points de suture. Ainsi, ces durées devraient diminuer et la qualité des points de suture augmenter au fil des essais, suivant l'allure d'une courbe d'apprentissage. Au sujet des mesures subjectives, après avoir réalisé les cinq essais, les apprenants devraient avoir une confiance en soi et une compétence perçue concernant la réalisation du point de suture plus élevée qu'avant l'apprentissage.

Les études précédentes ont montré que l'apprentissage devrait être également visible à travers l'étude de l'atomisation de l'action, reflétant le passage de la phase déclarative à la phase de compilation des connaissances. Cela signifie que le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions devrait être très élevé sur le premier essai puis diminuer dès le deuxième, marquant ainsi la fin de la phase déclarative (Anderson, 1983).

Pour ce qui concerne le point de vue de présentation des informations, le point de vue égocentré pourrait faciliter le traitement de l'information dans les premières étapes de l'apprentissage et donc minimiser la charge cognitive extrinsèque. Cela pourrait avoir un effet facilitateur sur l'apprentissage, en particulier pour les personnes ayant une faible aptitude à la rotation mentale. Cela se traduirait par des durées de consultation, d'exécution et de réalisation plus courtes, un nombre d'erreurs commises plus faible ainsi que des scores OSATS plus élevés comparativement au point de vue hétérocentré.

Compte tenu de l'aptitude à la rotation mentale des individus, nous avons supposé qu'une interaction se produirait entre l'aptitude à la rotation mentale et le point de vue présenté dans les instructions. Ainsi, parmi les étudiants soumis au point de vue hétérocentré, ceux ayant une faible aptitude à la rotation mentale réaliseraient des points de suture moins rapidement et de moins bonne qualité que ceux ayant une forte aptitude à la rotation mentale. Cette différence devrait s'estomper lorsque les étudiants sont soumis au point de vue égocentré.

## **3.2. Méthode**

### **3.2.1. Population**

Les participants ont été sélectionnés parmi les étudiants de deuxième année à la Faculté de Médecine de l'Université de Bretagne Occidentale, préalablement soumis au test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978), étalonné et adapté en langue française par Albaret et Aubert (1996, Annexe 8). Tous étaient volontaires pour participer à une expérience.

Quarante-quatre individus (12 hommes et 32 femmes), âgés de 20 ans en moyenne ( $\sigma = 1,48$  ; min = 18 ; max = 26) ont été retenus. Aucun n'avait réalisé de points de suture auparavant. Ont été retenus, les participants ayant une forte aptitude à la rotation mentale (supérieure à 25 sur 40 points) et ceux ayant une faible aptitude (inférieure à 15). Chacun des deux groupes était confronté à une perspective différente et comportait 22 individus, (11 présentaient une forte aptitude à la rotation mentale et 11 présentaient une faible aptitude à la rotation mentale). Chaque groupe était composé de 6 hommes et 16 femmes.

### **3.2.2. Matériel**

Pour cette expérience, différents types de matériels ont été utilisés : (1) le matériel pédagogique, qui comprenait les instructions de réalisation et le matériel de présentation des instructions ; (2) le matériel chirurgical et de simulation, avec lequel les participants réalisaient les points de suture ; et (3) le matériel de recueil de données.

#### **3.2.2.1. Matériel pédagogique**

##### **3.2.2.1.1. Instructions de réalisation**

Les instructions étaient similaires aux instructions utilisées dans l'expérience 3.

#### **3.2.2.1.2. Matériel de présentation**

Les instructions étaient présentées à l'aide du logiciel TIP-EXE (Ganier & Querrec, 2012), de la même façon que dans les expériences 2 et 3.

#### **3.2.2.2. Matériel chirurgical et de simulation**

Le matériel chirurgical et de simulation était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes : (1) un porte-aiguille, (2) une pince à griffes, (3) une pince sans griffes, (4) des ciseaux, (5) un sachet qui contenait un fil serti d'une aiguille et (6) une peau synthétique.

#### **3.2.2.3. Matériel de recueil de données**

Afin d'évaluer l'apprentissage des participants, différents types d'outils de mesure ont été utilisés : (1) le logiciel TIP-EXE, pour le recueil des mesures chronométriques et comportementales, (2) des échelles de qualité du geste technique, et (3) des questionnaires sur la satisfaction et la confiance en soi des participants.

##### **3.2.2.3.1. Mesures chronométriques**

Le logiciel TIP-EXE, sur lequel étaient présentées les instructions, servait à recueillir des mesures chronométriques et comportementales des participants. Ces mesures étaient destinées à examiner le déroulement de l'apprentissage du geste technique et à vérifier son acquisition. Elles correspondaient (1) à la durée d'exposition en lecture des instructions ou durée de consultation des instructions, qui désignait la durée d'affichage des instructions par les participants, (2) à la durée d'exécution du geste, qui désignait la durée pendant laquelle les participants ne visionnaient pas les instructions et pouvaient donc exécuter le geste technique, (3) à la durée de réalisation de la procédure et (4) au nombre d'alternances entre consultation et exécution.

##### **3.2.2.3.2. Questionnaires et échelles**

Pour évaluer l'aptitude à la rotation mentale des participants, le test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978), présenté dans l'expérience précédente était utilisé (Annexe 8).

Les échelles utilisées pour noter la qualité des points de suture étaient l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs à éviter (Annexe 1 et Annexe 2), utilisées dans les expériences précédentes. Les deux questionnaires administrés aux participants, pré-expérience et post-expérience, étaient également similaires à ceux utilisés dans les expériences précédentes (Annexe 3 et Annexe 4).

### **3.2.3. Procédure**

La procédure de cette expérience était la même que celle de l'expérience 3. Cependant, les participants avaient passé le test de rotation mentale (Vandenberg & Kuse, 1978) avant le recrutement. Le questionnaire NASA-TLX ne leur était pas administré.

Le débriefing était effectué à l'issue de la session.

### **3.3. Résultats**

L'analyse des résultats porte d'abord sur les mesures comportementales (durée de réalisation de la procédure, durée de consultation des instructions et durée d'exécution du geste), et sur les mesures de qualité (nombre d'erreurs et score OSATS) pour les cinq essais. Elle se concentre ensuite sur les mesures comportementales fines (nombre d'alternances entre consultation et exécution). Enfin, elle aborde les évaluations subjectives sur la confiance en soi, la compétence, l'intérêt, la facilité et les bénéfices de l'apprentissage perçus des étudiants avant et après la réalisation de l'expérience.

Toutes les mesures chronométriques sont présentées en minutes et centièmes.

Les données brutes récoltées lors de cette expérience sont disponibles en ligne (Jannin, 2020d).

#### **3.3.1. Durée de réalisation de la procédure**

##### **3.3.1.1. Effet du nombre d'essais**

Les mesures chronométriques liées à la durée de réalisation de la procédure présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage : la durée totale de réalisation est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième, puis plus régulièrement au fil des répétitions et semble se stabiliser aux essais 4 et 5 (Figure 39). Les étudiants mettent en moyenne 14,33mn ( $\sigma = 5,55$ ) pour réaliser la procédure la première fois et 4,95mn ( $\sigma = 2,13$ ) la deuxième fois. La troisième réalisation de la procédure prend en moyenne 4,08mn ( $\sigma = 1,91$ ). Pour les deux derniers essais, les durées de réalisation sont presque identiques avec une moyenne de 3,54mn ( $\sigma = 1,55$ ) pour le quatrième et de 3,49mn ( $\sigma = 1,73$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de réalisation de la procédure :  $F(4,160) = 151,67; p < .001, \eta^2 = 0,791$ .

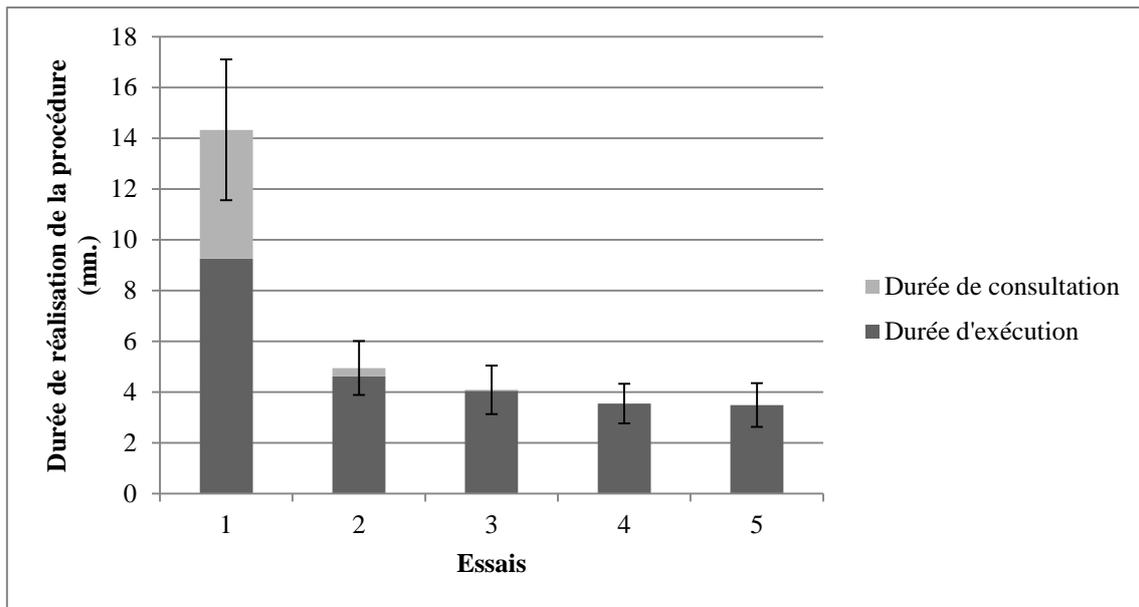


Figure 39. Durée de réalisation (séparée en durées d'exécution et de consultation des instructions) pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation.

La diminution de la durée de réalisation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 4. La durée de réalisation diminue de 9,38mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 170,39$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,86mn :  $F(1,40) = 8,57$ ;  $p = .006$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4 :  $F(1,40) = 6,34$ ;  $p = .016$ , avec une diminution de 0,54mn.

La différence s'estompe entre l'essai 4 et l'essai 5. Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances.

### 3.3.1.2. Effet du point de vue

Les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue égocentré mettent moins de temps en moyenne, 5,42mn ( $\sigma = 1,69$ ) pour réaliser la procédure que ceux ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue hétérocentré 6,73mn ( $\sigma = 2,02$ ). Cet effet est significatif :  $F(1,40) = 5,36$  ;  $p = .026$ ,  $\eta^2 = 0,118$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

### **3.3.2. Durée de consultation des instructions**

#### **Effet du nombre d'essais**

La durée de consultation des instructions diminue au fil des essais. Elle est très élevée au premier essai et diminue fortement jusqu'au troisième essai pour lequel il n'y a presque plus de consultation (Figure 39). Les participants mettent en moyenne 5,07mn ( $\sigma = 2,15$ ) au premier essai et 0,32mn ( $\sigma = 0,50$ ) au deuxième essai. Pour les trois derniers essais les participants ne consultent presque pas les instructions, passant de 0,03mn ( $\sigma = 0,12$ ) pour le troisième essai à 0,01mn ( $\sigma = 0,02$ ) au cinquième. Il n'y a aucune consultation pour le quatrième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée de consultation des instructions procédurales :  $F(4,160) = 216,65$  ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,844$ .

La diminution de la durée de consultation des instructions et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 3. La durée de consultation diminue de 4,75mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 191,03$  ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,30mn :  $F(1,40) = 18,13$  ;  $p < .001$ . La différence s'estompe entre l'essai 3 et l'essai 4, les participants ne consultant presque plus les instructions. Ces résultats semblent indiquer une stabilisation des performances.

Aucun autre effet n'est significatif.

### **3.3.3. Durée d'exécution du geste**

#### **3.3.3.1. Effet du nombre d'essais**

La durée d'exécution du geste diminue au fil des essais (Figure 39). Les participants mettent en moyenne 9,25mn ( $\sigma = 3,82$ ) pour faire leur premier point de suture et 4,62mn ( $\sigma = 1,97$ ) pour le deuxième. La troisième exécution du geste prend en moyenne 4,05mn ( $\sigma = 1,87$ ). Pour les deux derniers essais, les durées d'exécution du geste sont presque identiques avec une moyenne de 3,54mn ( $\sigma = 1,55$ ) pour le quatrième et de 3,48mn ( $\sigma = 1,71$ ) pour le cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur la durée d'exécution du geste « point de suture » :  $F(4,160) = 78,16$  ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,661$ .

La diminution de la durée d'exécution du geste et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires (analyses par contrastes). Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 4. La durée d'exécution diminue de 4,63mn de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 99,37$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 0,57mn :  $F(1,40) = 4,17$  ;  $p = .048$  ; et l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,51mn :  $F(1,40) = 5,80$  ;  $p = .021$ .

La différence s'estompe entre l'essai 4 et l'essai 5. Ces résultats semblent indiquer un début de stabilisation des performances.

#### **3.3.3.2. Effet du point de vue**

Les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue égocentré mettent moins de temps en moyenne, 4,38mn ( $\sigma = 1,32$ ) pour exécuter le geste que ceux ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue hétérocentré 5,61mn ( $\sigma = 1,77$ ). Cet effet est significatif :  $F(1,40) = 6,77$  ;  $p = .013$ ,  $\eta^2 = 0,144$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

#### **3.3.4. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution des actions**

##### **Effet du nombre d'essais**

Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste est très élevée au premier essai, diminue fortement au deuxième et puis plus régulièrement entre les répétitions pour finir par se stabiliser aux essais 4 et 5 (Figure 40). Les étudiants alternent en moyenne 49 fois ( $\sigma = 21,41$ ) entre la consultation et l'exécution au premier essai et 5,57 fois ( $\sigma = 6,96$ ) au deuxième. Pour les trois derniers essais les participants alternent 0,8 fois ( $\sigma = 2,64$ ) pour le troisième essai et 0,02 fois ( $\sigma = 0,15$ ) au cinquième. Il n'y a aucune consultation pour le quatrième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le nombre d'alternances :  $F(4,160) = 199,34$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,833$ .

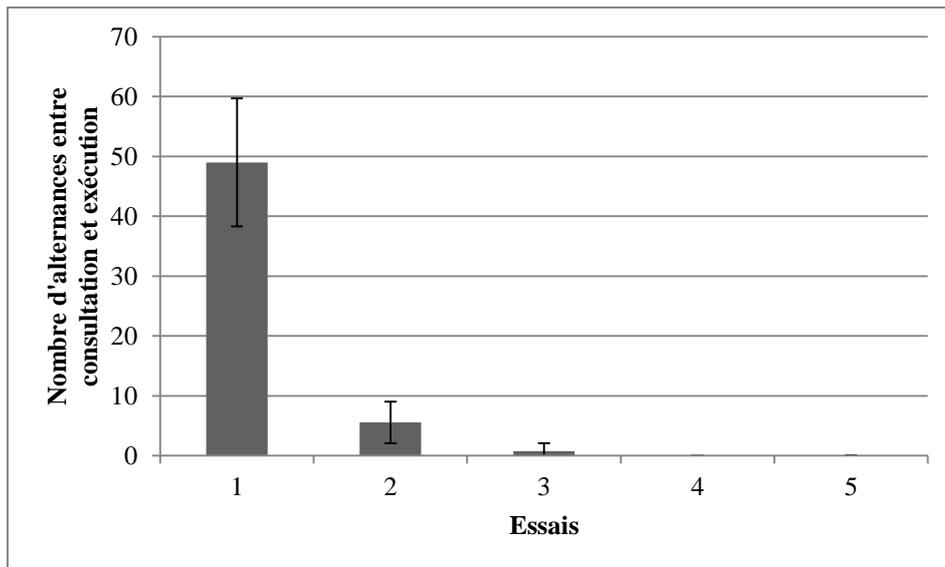


Figure 40. Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'alternances et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences significatives de l'essai 1 à l'essai 4. Le nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste diminue de 43,43 de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 180,94$ ;  $p < .001$ . Cette diminution est un peu moins marquée entre l'essai 2 et l'essai 3, avec une diminution de 4,77 :  $F(1,40) = 31,74$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une diminution de 0,80 :  $F(1,40) = 4,26$ ;  $p = .04$ . La différence entre l'essai 4 et l'essai 5 n'est pas significative, la consultation étant anecdotique.

Aucun autre effet n'est significatif.

### 3.3.5. Nombre d'erreurs

#### Effet du nombre d'essais

Le nombre d'erreurs réalisées par les participants diminue au fil des essais (Figure 41). Les participants ont un nombre d'erreurs moyen de 0,98 ( $\sigma = 0,83$ ) sur le premier essai et de 0,45 ( $\sigma = 0,63$ ) sur le deuxième. Le nombre d'erreurs augmente un peu au troisième essai, passant à 0,64 ( $\sigma = 0,69$ ), pour recommencer à diminuer au quatrième à 0,39 ( $\sigma = 0,54$ ) et au cinquième : 0,22 (0;  $\sigma = 0,41$ ). Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le nombre d'erreurs :  $F(4,160) = 10,02$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,200$ .

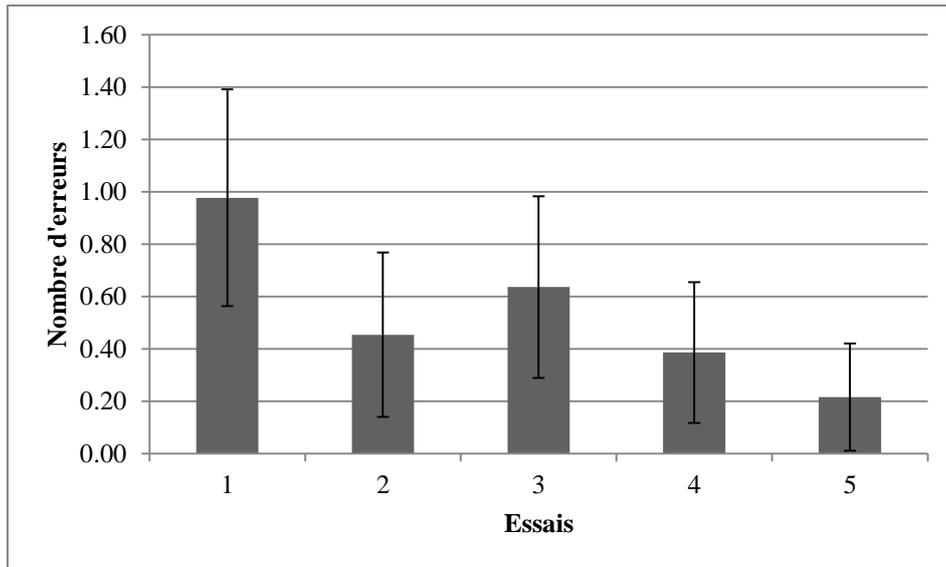


Figure 41. Nombre d'erreurs pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'erreurs a été confirmée de l'essai 1 à l'essai 2 par des comparaisons analytiques par paires (diminution de 0,52) :  $F(1; 40) = 10,19$ ;  $p = .003$ . La différence s'estompe sur les autres essais.

Aucun autre effet n'est significatif.

### 3.3.6. Score OSATS

#### 3.3.6.1. Effet du nombre d'essais

La qualité des points de suture augmente au fil des essais (Figure 42). Les participants ont un score OSATS moyen de 15,60 ( $\sigma = 3,30$ ) la première fois et de 21,01 ( $\sigma = 3,34$ ) la deuxième fois. Les scores continuent d'augmenter pour les trois derniers essais, passant de 25,34 points ( $\sigma = 3,22$ ) pour le troisième point, à 28,15 points ( $\sigma = 3,56$ ) au quatrième et 30,32 points ( $\sigma = 3,33$ ) au cinquième. Une analyse de variance (ANOVA) confirme l'effet significatif du nombre d'essais sur le score à l'échelle OSATS :  $F(4,160) = 439,52$  ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0,916$ .

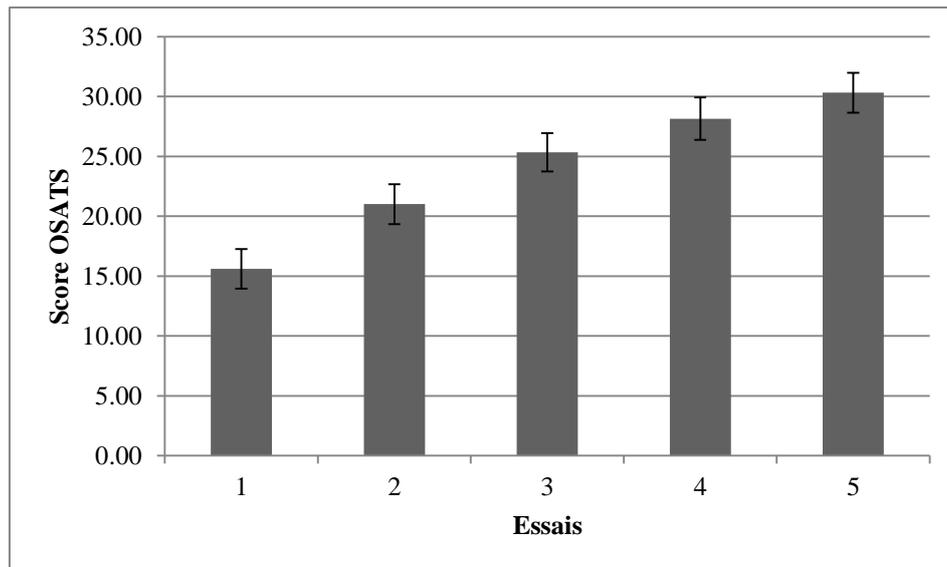


Figure 42. Score OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.

L'amélioration de la qualité des points de suture a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 5. Le score OSATS augmente de 5,41 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,40) = 222,70$ ;  $p < .001$  ; et de 4,33 points entre l'essai 2 et l'essai 3 :  $F(1,40) = 112,84$ ;  $p < .001$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une augmentation de 2,81 points :  $F(1,40) = 65,21$ ;  $p < .001$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une augmentation de 2,17 points :  $F(1,40) = 71,00$ ;  $p < .001$ .

### 3.3.6.2. Effet de l'aptitude à la Rotation mentale

Les participants ayant une forte aptitude à la rotation mentale (RM+) ont des scores OSATS plus élevés, de 24,85 points ( $\sigma = 2,71$ ) en moyenne, que les participants ayant une faible aptitude à la rotation mentale (RM-), de 23,32 points ( $\sigma = 2,93$ ) en moyenne. Cet effet est significatif :  $F(1,40) = 4,32$  ;  $p = .044$ ,  $\eta^2 = 0,097$  (Tableau 5).

Tableau 5.

Scores OSATS moyen par point de vue et par aptitude à la rotation mentale.

	Groupe égocentré	Groupe hétérocentré	Moyenne
RM+	26,44	23,25	24,85
RM-	24,71	21,94	23,32
Moyenne	25,57	22,60	24,08

### 3.3.6.3. Effet du point de vue

Les participants ayant consulté les instructions présentées selon le point de vue égocentré ont des scores OSATS plus élevés en moyenne, 25,57 points ( $\sigma = 2,35$ ) que ceux ayant

consulté les instructions présentées selon le point de vue hétérocentré, 22,60 points ( $\sigma = 2,64$ ). Cet effet est significatif :  $F(1,40) = 16,53$  ;  $p < .001$   $\eta^2 = 0,292$  (Tableau 5).

Aucun autre effet n'est significatif.

### **3.3.7. Évaluations subjectives de l'apprentissage**

Les participants notent leur confiance en soi pour la réalisation d'un point de suture dans une situation simulée significativement plus élevée après (4,45 ;  $\sigma = 0,63$ ) qu'avant l'entraînement (3,25 ;  $\sigma = 1,05$ ) :  $F(1,40) = 68,18$  ;  $p < .001$  ;  $\eta^2=0,630$ . La confiance en soi pour réaliser un point de suture dans une situation réelle augmente également après la simulation (2,89 ;  $\sigma = 0,87$ ) comparativement à avant (1,73 ;  $\sigma = 0,90$ ) :  $F(1,40) = 59,66$  ;  $p < .001$  ;  $\eta^2=0,599$  ; ainsi que leur compétence perçue après la simulation (3,45 ;  $\sigma = 0,63$ ) comparativement à avant (2,38 ;  $\sigma = 0,86$ ) :  $F(1,40) = 66,54$  ;  $p < .001$  ;  $\eta^2=0,625$ . Sur les trois items qui évaluent l'intérêt perçu de l'exercice la moyenne des scores est de 4,97 ( $\sigma = 0,00$ ) sur 5. La facilité d'apprentissage perçue présente un score moyen de 3,73 ( $\sigma = 0,79$ ) sur 5. Sur les deux items qui concernent les bénéfices perçus de l'apprentissage la moyenne des scores est de 4,75 ( $\sigma = 0,06$ ) sur 5.

Aucun autre effet n'est significatif.

### **3.4. Discussion**

Cette quatrième étude s'intéressait à l'adaptation des instructions aux caractéristiques des apprenants pour l'apprentissage procédural. Le but principal était de déterminer quel format de présentation des instructions était le plus adapté à l'apprentissage des points de suture chez des étudiants en médecine. Il s'agissait de vérifier que l'effet positif des instructions égocentrées par rapport aux instructions hétérocentrées, montré dans l'expérience 3, était renforcé en comparant des apprenants qui présentaient de fortes aptitudes à la rotation mentale avec des apprenants qui présentaient de faibles aptitudes à la rotation mentale. Comme pour les études précédentes, le préalable aux analyses était de vérifier que les participants se trouvaient bien dans une situation d'apprentissage procédural. Cette expérience conforte les résultats de l'expérience précédente concernant la validité interne de la situation d'apprentissage de geste technique par simulation et les effets du point de vue de présentation des instructions sur cet apprentissage.

### **3.4.1. Vérification de la validité interne et phases de l'apprentissage de procédure**

Nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'essais devrait avoir un effet positif sur les performances des participants et que cet apprentissage serait visible à travers l'étude de l'atomisation de l'action, montrant le passage de la première à la deuxième phase de l'apprentissage procédural.

Les résultats de cette étude font apparaître, comme pour les expériences précédentes, que les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage. Les résultats montrent une diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste et, donc de la durée totale de réalisation de la tâche, ainsi que l'amélioration de la qualité des points de suture évaluée par le score OSATS. Par ailleurs, la confiance en soi et la compétence perçue des apprenants augmentent significativement au fil des essais, montrant que les apprenants ont conscience de l'amélioration de leurs performances.

Comme dans les expériences précédentes, le nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions rend visible le passage d'une phase déclarative de l'apprentissage procédural, caractérisée par un recours systématique aux instructions, à une phase de compilation des connaissances. En effet, les apprenants alternent 49 fois en moyenne entre les instructions et l'exécution sur le premier essai, alors que les documents qui présentent la procédure ne comportent que 16 étapes. Lors des essais suivants, le nombre d'alternances est plus faible que le nombre d'étapes.

### **3.4.2. Effet du point de vue et des aptitudes visuo-spatiales**

Pour cette étude il avait été supposé que le point de vue égocentré induirait de meilleures performances que le point de vue hétérocentré lors de l'apprentissage de la procédure. Il avait été également supposé que l'aptitude à la rotation mentale interagirait avec le point de vue de présentation des instructions, le point de vue hétérocentré pénalisant de manière plus importante les individus ayant une faible aptitude à la rotation mentale.

Les résultats font apparaître que, pour la durée de réalisation de la procédure et la durée d'exécution du geste, le point de vue égocentré semble être le plus profitable en termes de vitesse de réalisation. Aucune différence entre les deux points de vue n'est visible sur la

durée de consultation. Les participants confrontés au point de vue égocentré réalisent la procédure plus rapidement que les participants confrontés au point de vue hétérocentré. Si cette différence de durée entre les deux points de vue est due à la nécessité d'effectuer une rotation mentale lors de la confrontation avec un point de vue hétérocentré, il semblerait que cela se produise lors de l'exécution. Pour cette expérience, était considérée comme durée d'exécution du geste toute durée pendant laquelle les participants ne cliquaient pas sur une instruction pour la visionner. Cette durée d'exécution ne comptabilise pas uniquement les moments durant lesquels les participants étaient en train d'interagir avec le matériel chirurgical, mais également les moments d'interruption entre deux lectures d'instructions, entre la lecture et l'action ou entre deux moments d'action. Le traitement différent entre les deux points de vue, se traduisant par une plus longue durée de réalisation de la tâche lors de la confrontation au point de vue hétérocentré, semble se dérouler lors de ces moments compris dans la durée d'exécution.

Nous avons supposé que le traitement amenant une différence entre les deux points de vue pourrait être la rotation mentale nécessaire pour interpréter les instructions imagées dans la condition hétérocentrée. Si tel est le cas, la rotation mentale devrait augmenter la charge cognitive des participants devant la réaliser. Pour confirmer l'augmentation de la charge cognitive chez les participants exposés au point de vue hétérocentré, il est nécessaire de s'intéresser à la qualité d'exécution du geste qui devrait traduire la qualité du traitement des instructions. Au vu des résultats le point de vue égocentré semble être plus profitable que le point de vue hétérocentré pour ce qui concerne la qualité des points de suture. En effet le groupe confronté au point de vue égocentré obtient de meilleurs scores OSATS que le groupe confronté au point de vue hétérocentré. Par ailleurs, même si l'interaction entre l'aptitude à la rotation mentale et le point de vue de présentation des instructions n'est pas significative, la comparaison entre les groupes fait apparaître que les participants qui réalisent des points de suture de meilleure qualité sont ceux qui ont une forte aptitude à la rotation mentale et qui sont confrontés au point de vue égocentré. En revanche, les participants ayant les moins bonnes performances sont ceux confrontés au point de vue hétérocentré et ayant de faibles aptitudes à la rotation mentale. Il semble que la nécessité de réaliser une rotation mentale lors de la confrontation avec le point de vue hétérocentré complique particulièrement le traitement de l'information chez les individus ayant une faible

aptitude à la rotation mentale. La charge cognitive qui en découle serait plus importante que celle des individus ayant une forte aptitude à la rotation mentale. Malgré un meilleur score obtenu par les participants ayant une faible aptitude à la rotation mentale et confrontés au point de vue égocentré, la différence par rapport aux participants ayant une forte aptitude à la rotation mentale et confrontés au point de vue hétérocentré n'est pas significative. Il semble donc que la confrontation des participants disposants de faibles aptitudes à la rotation mentale au point de vue égocentré, leur permet de réaliser des points de suture d'aussi bonne qualité que les participants disposant d'aptitudes plus élevées mais confrontés au point de vue hétérocentré. L'utilisation du point de vue égocentré pourrait permettre de faciliter le traitement des informations visuelles chez les apprenants ayant de faibles aptitudes visuo-spatiales.

#### **4. Conclusion**

Ces troisième et quatrième études avaient pour objectif principal d'examiner l'effet de la perspective des instructions sur l'apprentissage procédural et d'en tirer des recommandations pour la conception d'instructions. Des études menées sur la réalisation de procédures ont montré un effet positif de la perspective égocentrée ou point de vue à la première personne sur cette réalisation (Fiorella, van Gog, Hoogerheide & Mayer, 2017; Garland & Sanchez, 2013). Nous voulions également vérifier que les aptitudes visuo-spatiales exerçaient une influence sur le traitement des instructions procédurales, particulièrement les instructions hétérocentrées qui pourraient nécessiter une transformation mentale supplémentaire. Les deux expériences avaient également comme but de confirmer la validité pédagogique de la situation d'apprentissage par la simulation en *e-learning*. Les résultats des deux expériences suivent ceux des expériences 1 et 2, montrant que les performances des participants progressent au fil des essais et que ceux-ci passent d'une phase déclarative à une phase de compilation des connaissances. Les résultats de l'expérience 3 font également apparaître que les performances se maintiennent globalement après une semaine d'intervalle. La situation pédagogique peut être considérée comme efficace.

Concernant le point de vue des instructions, les résultats font apparaître que le point de vue égocentré est le plus profitable, en accord avec les résultats de Garland et Sanchez (2013). Les participants qui étaient confrontés à la perspective égocentrée réalisaient la procédure plus rapidement et avec des résultats de meilleure qualité que ceux confrontés à la

perspective hétérocentrée. Si cette différence entre les deux points de vue est due à la nécessité de transformer mentalement les images, lorsque celles-ci sont présentées selon une perspective hétérocentrée, ce processus supplémentaire semble se dérouler immédiatement après la consultation mais avant ou pendant l'exécution des actions. En effet, la durée de réalisation est plus longue pour les groupes confrontés aux instructions hétérocentrées, et les résultats de l'expérience 4 font apparaître que c'est également le cas de la durée d'exécution. Dans ces expériences, la durée d'exécution comportait tout temps durant lequel les instructions n'étaient pas activées. La durée d'exécution ne comprend pas seulement les moments durant lesquels les participants interagissaient avec le matériel, mais également les moments d'interruption entre deux temps de consultation des instructions, entre la consultation et l'action, ou entre deux actions. Le processus de traitement supplémentaire déclenché par les instructions hétérocentrées, résultant en de plus longues durées de réalisation, se déroulerait donc durant l'un de ces moments.

La transformation nécessaire pour traiter les instructions hétérocentrées était supposée imposer une charge cognitive supplémentaire chez les participants ayant de faibles aptitudes visuo-spatiales, sans gêner les participants ayant de bonnes aptitudes visuo-spatiales. Les résultats de l'expérience 3 font apparaître que les aptitudes visuo-spatiales sont corrélées à de meilleurs scores OSATS et une durée de réalisation plus courte lors de la deuxième session pour le groupe ayant des instructions hétérocentrées. Alors que pour le groupe ayant des instructions égocentrées, les aptitudes visuo-spatiales ne sont pas corrélées avec les performances. Ceci pourrait signifier que le traitement des instructions hétérocentrées nécessite de meilleures aptitudes visuo-spatiales, alors que les instructions égocentrées ne nécessitent pas d'aptitudes particulières. Cependant, dans l'expérience 4, l'interaction entre point de vue et aptitude à la rotation mentale n'est pas significative. L'aptitude à la rotation mentale des participants exerce pourtant un effet sur leurs performances : une bonne aptitude à la rotation mentale induit de meilleures performances qu'une faible aptitude. Les participants qui présentent une bonne aptitude à la rotation mentale et confrontés au point de vue hétérocentré obtiennent de meilleures performances que les participants confrontés au même point de vue avec une faible aptitude. Il semble qu'une bonne aptitude à la rotation mentale permet de minimiser l'effort nécessaire pour interpréter les instructions

hétérocentrées, mais pas suffisamment pour permettre des performances équivalentes à celles obtenues par des apprenants confrontés au point de vue égocentré.

En termes de recommandations pour la création d'instructions procédurales, il semble nécessaire de favoriser le point de vue égocentré, le but étant de permettre un traitement facile des informations pour tous les individus, quelles que soient leurs aptitudes visuo-spatiales. Cependant, l'avantage du point de vue égocentré ne semble pas généralisable à toutes les procédures. Comme Boucheix, Gauthier, Fontaine et Jaffeux (2018) l'on montré, un point de vue mixte peut être plus favorable pour l'apprentissage lorsqu'il présente une procédure qui nécessite un déplacement ou des changements de point de vue. Selon ces auteurs, l'utilisation d'un point de vue égocentré serait appropriée pour l'apprentissage d'une procédure nécessitant un point de vue stable et focalisé sur l'action. Il serait désormais utile de déterminer les caractéristiques spécifiques selon lesquelles l'apprentissage d'une procédure nécessiterait ce type de perspective.

Ces études, comme les précédentes, semblent confirmer que l'utilisation du *e-learning* pour la simulation de procédures dans un but d'apprentissage peut permettre, grâce aux répétitions, d'améliorer la qualité et la vitesse de réalisation de la procédure. De plus, les résultats de l'expérience 3 font apparaître que les performances d'apprentissage peuvent être maintenues après un intervalle temporel d'une semaine. Cependant, les apprenants continuent à progresser après celui-ci. Cela signifie que les 5 essais proposés lors de la première session d'apprentissage ne sont pas suffisants pour atteindre une connaissance optimale de la procédure. Les apprenants n'auraient pas le temps d'acquérir complètement la procédure. Ce sont la pratique et la répétition qui permettent d'apprendre ces procédures et de les automatiser (Anderson, 2013). Comme recommandé par certains auteurs (Boucheix, 2015; Granry & Moll, 2012; Issenberg, McGaghie, Petrusa, Gordon & Scalese, 2005; Issenberg et al., 2002), nos résultats semblent montrer que d'autres essais, et donc un temps d'entraînement plus long, sont nécessaires avant de pratiquer la procédure sur le terrain.



## **CHAPITRE 8 – ORGANISATION D’UN APPRENTISSAGE PROCEDURAL EN SIMULATION ET *BLENDED LEARNING*. UNE ETUDE DE TERRAIN**

Dans les expériences précédentes, nous avons montré que les apprenants peuvent acquérir une procédure en une séance de simulation mais celle-ci n’est pas suffisante pour qu’ils atteignent une performance stable. La réalisation de points de suture doit être répétée après les 5 premiers essais pour être automatisée. Pour certains auteurs (Issenberg, McGaghie, Petrusa, Gordon & Scalese, 2005), cela implique que le matériel de simulation devrait être accessible facilement aux étudiants pour qu’ils puissent pratiquer aisément et de façon répétée. C’est pourquoi, dans l’étude de terrain suivante nous avons proposé de vérifier la validité d’une situation d’apprentissage de réalisation d’un point de suture par la simulation combinant enseignement présentiel et *e-learning*. Cette combinaison de présentiel et de *e-learning* renvoie à ce que l’on appelle le *blended learning*. Le module *e-learning* permet aux apprenants de pratiquer quand et où ils le souhaitent, à condition qu’ils disposent du matériel nécessaire. La question de l’organisation d’un tel cours, se pose cependant. En effet, est-il plus approprié d’autoriser l’accès au module *e-learning* après ou avant le cours en présentiel ?

### **1. Entraînement et *blended learning***

Dans l'apprentissage procédural, l'acquisition à long terme de procédures et d'habiletés résulte de la pratique plutôt que de la lecture initiale de documents (Ganier, 2004). La précision de rappel s'améliore lorsque les instructions sont rappelées en les réalisant physiquement plutôt qu'en les répétant verbalement (Allen & Waterman, 2015; Koriat, Ben-Zur & Nussbaum, 1990; Yang, Gathercole & Allen, 2015). C'est pourquoi les compétences techniques en éducation médicale devraient être enseignées principalement par la simulation et la formation pratique. Parce que les professionnels de santé ont le devoir d'assurer la sécurité et le bien-être du patient, les premiers gestes techniques ne devraient être pratiqués sur les patients que lorsque le geste est suffisamment maîtrisé. Dans ce cadre, la formation par simulation répond aux normes de l'éthique médicale car elle n'implique pas

directement les patients mais permet néanmoins aux étudiants de mettre en pratique leurs connaissances procédurales (Aggarwal et al., 2009).

Cependant, la plupart des ateliers de formation par simulation nécessitent une supervision de la part d'un instructeur et ne peuvent accueillir qu'un petit nombre d'étudiants à la fois. Fréquemment, les coûts de gestion ne permettent pas aux universités d'organiser des ateliers aussi fréquents et variés que nécessaire pour permettre aux étudiants d'acquérir les connaissances procédurales visées, alors que des recherches précédentes ont montré que le succès des procédures, comme la réanimation cardiaque, était fortement lié à la pratique (Bonnetain, Boucheix, Hamet & Freysz, 2010).

La pratique sur une séance unique est donc souvent insuffisante pour son acquisition. Bien que l'apprentissage procédural nécessite de l'entraînement, la meilleure façon d'entraîner les étudiants efficacement et rapidement reste peu claire (Bonnetain, Boucheix, Hamet & Freysz, 2010). Des recherches (Baddeley & Longman, 1978; Fishman, Keller & Atkinson, 1968; Lee & Genovese, 1988; Mackay, Morgan, Datta Chang & Darzi, 2002; Moulton et al., 2006) ont montré que l'apprentissage *réparti* (qui consiste à diviser les sessions de formation au fil du temps) permet d'acquérir des connaissances procédurales plus rapidement et plus efficacement que l'apprentissage *massé* (qui consiste à regrouper la formation sur plusieurs sessions rapprochées ou sur une seule session). Baddeley et Longman (1978) ont travaillé avec la Poste britannique pour former les postiers à la frappe sur machine à écrire, nécessaire pour l'utilisation de certaines machines de tri. Ils ont comparé deux durées d'entraînement (une heure ou deux heures) et deux fréquences (une ou deux fois par jour). Quatre groupes d'opérateurs étaient formés, chacun avec un rythme journalier différent : un groupe réalisait une session d'une heure, un groupe réalisait deux sessions d'une heure, un groupe réalisait une session de deux heures et un groupe réalisait deux sessions de deux heures. Chaque groupe bénéficiait d'une formation de 60 heures minimum. Le groupe qui ne s'entraînait qu'une heure par jour obtenait de meilleurs résultats en termes de vitesse de frappe et de nombre d'erreurs que tous les autres groupes. Celui-ci obtenait de meilleurs résultats que le groupe qui réalisait deux sessions d'une heure, qui lui-même obtenait de meilleurs résultats que le groupe qui réalisait une fois deux heures d'entraînement. Le groupe qui s'entraînait sur deux sessions de deux heures par jour ayant les moins bonnes performances. Baddeley et Longman (1978) ont conclu qu'il est plus efficace de limiter la

quantité d'entraînement journalier. Masser l'entraînement sur une session unique serait moins efficace que de proposer des sessions plus courtes distribuées dans le temps. Cependant en simulation, pour réduire les coûts de gestion, la solution généralement choisie est de masser l'apprentissage sur une ou deux sessions (Barsuk, Cohen, Feinglass, McGaghie & Wayne, 2009; Barsuk, McGaghie, Cohen & Balachandran, 2009; Kamdar et al., 2013; Meyer et al., 2011 ; Singer et al., 2013).

Le *blended learning* ou apprentissage mixte pourrait être une solution pour les facultés de médecine dont les étudiants doivent acquérir de nombreuses compétences médicales. Le *blended learning* se définit généralement par la combinaison de cours en ligne et de cours traditionnels (Graham, 2013), mais le *blended learning* peut aller plus loin que le simple ajout de cours en ligne à des ateliers de simulation. C'est pourquoi cette étude envisage une approche de *blended learning* avec l'utilisation de la formation par simulation, à la fois en ligne et en présentiel. La pratique étant la clé de l'acquisition des connaissances procédurales, cette approche est axée sur la possibilité offerte aux étudiants de s'entraîner à la réalisation de la procédure sans supervision, sur un équipement de simulation, à l'aide d'un module de formation en ligne. L'enjeu est donc de vérifier dans quelle mesure ce type de formation peut aider les étudiants à acquérir des connaissances procédurales.

## **2. Étayage, pré-entraînement et exemple résolu**

Pour aller plus loin, il est important de réfléchir à la manière d'organiser le *blended learning*: est-il plus efficace d'apprendre une procédure par un apprentissage en ligne avant de participer à un atelier en face-à-face? Ou inversement, est-il plus efficace de commencer à apprendre la technique dans un atelier supervisé, puis de continuer à pratiquer dans une situation d'apprentissage en ligne ? Il existe très peu d'études sur l'organisation du *blended learning* et de la formation par la simulation.

Une recommandation rencontrée dans la littérature en éducation médicale est que l'augmentation progressive du degré de difficulté favorise la maîtrise des compétences apprises (Issenberg, McGaghie, Petrusa, Gordon & Scalese, 2005). Cela renvoie au principe d'étayage en psychologie cognitive. Ce principe repose sur la présence d'aides à la performance qui s'atténuent ou sur une difficulté qui augmente progressivement (van Merriënboer, Kirschner & Kester, 2003). Le principe d'étayage peut être appliqué à la

simulation de différentes façons : avant la situation simulée en réalisant un pré-entraînement ou durant la situation simulée en augmentant le degré de complexité ou en diminuant les aides à l'apprentissage. Réaliser un pré-entraînement, par exemple un cours préparatoire à une situation complexe, peut permettre d'éviter que les apprenants aient à traiter simultanément tous les éléments nouveaux dans la situation. En effet, cela demanderait une grande capacité de mémoire de travail et serait susceptible d'entraîner une surcharge cognitive. Pratiquer un pré-entraînement devrait permettre de faciliter la création de schémas, et ainsi libérer des ressources pour un apprentissage optimal durant la simulation (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). En utilisant le principe d'échafaudage, il est nécessaire de veiller à ce que la difficulté et les aides proposées soient adaptées au niveau de l'apprenant.

Un principe de conception que l'on peut lier au principe d'échafaudage et qui est également susceptible d'être utilisé lors de situations simulées est celui des *exemples résolus*. Il s'agit de présenter à l'apprenant un exemple de problème résolu avec la démarche pour arriver à la solution plutôt que de le laisser trouver la solution par lui-même (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). Selon Sweller (2006), le fonctionnement des systèmes de traitement de l'information sous-tend l'utilisation des exemples résolus. Presque toutes les connaissances en mémoire à long terme ont été empruntées de la mémoire à long terme d'autres personnes. Pour produire de nouvelles informations, les individus doivent passer par la résolution de problèmes en utilisant une genèse aléatoire de procédures dont ils testent ensuite l'efficacité. La mémoire de travail étant limitée en ressources, cette activité de genèse, très coûteuse, est difficile à réaliser (Baddeley, 2010; Miller, 1956; Sweller, 2006, 2016). La mémoire de travail est cependant capable de traiter des quantités illimitées d'informations en provenance de la mémoire à long terme. Au vu de ce fonctionnement, il est aisé de comprendre pourquoi il sera plus efficace pour un novice de travailler à partir d'un exemple résolu. Dans ce cas, la genèse aléatoire de solutions devrait être limitée, la mémoire de travail ne serait donc pas surchargée et l'apprenant devrait pouvoir se concentrer sur l'acquisition de la connaissance visée. Dans le cas d'une simulation, il est par exemple possible de donner aux apprenants novices des informations sur la façon de réaliser un certain geste lors d'une première session pour qu'ils puissent se concentrer sur la réalisation puis leur retirer progressivement ces informations.

Lors d'une situation d'apprentissage par la simulation en *blended learning*, le cours en *e-learning* qui présente et qui détaille toutes les étapes de réalisation de la procédure pourrait être considéré comme un pré-entraînement à la situation d'apprentissage en présentiel. En effet, celui-ci propose un exemple résolu en donnant aux apprenants novices la façon de réaliser un point de suture étape par étape et leur permettant de s'entraîner en s'appuyant sur cet exemple. Cette session d'entraînement est susceptible de préparer les apprenants au cours en présentiel dans lequel le formateur, devant s'occuper de plusieurs étudiants, ne pourra pas proposer un suivi étape par étape de leur progression dans la réalisation du geste. En outre, le *blended learning* par simulation constitue une approche novatrice et peu étudiée de l'acquisition de gestes techniques. Cette étude exploratoire sur le terrain vise à interroger les thèmes du *blended learning* et de l'organisation de la simulation, et à ouvrir la voie à de nouvelles études pour remédier au manque de littérature sur ces sujets.

### **3. Hypothèses**

En vue de confirmer la validité interne du dispositif pour l'apprentissage, nous avons émis l'hypothèse que le nombre de sessions d'apprentissage devrait avoir un effet sur la durée de consultation des instructions, sur la durée d'exécution du geste et, sur la qualité des points de suture. Ainsi, après une deuxième session, les durées devraient diminuer et la qualité des points de suture augmenter.

Concernant l'organisation de l'apprentissage, la réalisation de la séance de *e-learning* avant l'atelier en présentiel pourrait permettre de servir de pré-entraînement pour la simulation en présentiel avec un instructeur. Cela se traduirait par une durée de consultation, d'exécution et de réalisation plus brèves, un nombre d'erreurs commises plus faible ainsi que des scores OSATS plus élevés pour les participants ayant commencé par le *e-learning*.

### **4. Méthode**

#### **4.1. Population**

Les participants étaient des étudiants de deuxième année à la Faculté de Médecine de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest), n'ayant participé à aucune autre expérience concernant les points de suture. Tous étaient volontaires pour participer à une expérience.

Quarante-trois individus (13 hommes et 30 femmes), âgés de 19,9 ans en moyenne ( $\sigma = 1,05$  ; min. = 18 ; max. = 22), ont passé l'expérience. Aucun n'avait réalisé de point de suture auparavant. Quarante d'entre eux étaient droitiers et 3 gauchers.

Les participants ont été répartis en deux groupes : un groupe *e-learning* puis présentiel et un groupe présentiel puis *e-learning*. Les deux groupes étaient évalués à l'issue de la session en *e-learning* et à l'issue de l'atelier en présentiel. Plusieurs participants ayant renoncé à aller au terme de l'expérience, les groupes sont asymétriques en termes de nombre d'individus. Vingt-quatre participants (7 hommes, 17 femmes) commençaient avec la session *e-learning* puis réalisaient l'atelier une semaine plus tard. Dix-neuf participants (6 hommes, 13 femmes) commençaient avec l'atelier en présentiel puis suivaient le cours en *e-learning* une semaine plus tard.

## **4.2. Matériel**

Pour cette expérience, différents types de matériels ont été utilisés : (1) le matériel pédagogique, qui comprenait les instructions de réalisation et le matériel de présentation des instructions ; (2) le matériel chirurgical, avec lequel les participants réalisaient les points de suture ; (3) et le matériel de recueil de données.

### **4.2.1. Matériel pédagogique**

#### **4.2.1.1. Module *e-learning***

Le module *e-learning* a été créé spécialement pour cette étude. Il était composé de vidéos, de photos et d'instructions. Le module comprenait 4 parties différentes. Il commençait par les prérequis, que les participants devaient consulter avant de commencer la réalisation du geste chirurgical. Ils décrivaient le matériel, l'installation de l'aiguille sur le porte-aiguille et certaines erreurs à éviter dans des vidéos accompagnées de sous-titres et d'une voix qui lisait le texte des sous-titres. Ces vidéos étaient présentées d'un point de vue égocentré, similaire à celui de la vidéo des prérequis utilisée dans l'expérience 2, mais découpées suivant les différents points. La deuxième partie du module était composée d'une vidéo montrant la procédure de réalisation d'un point de suture en entier, également accompagnée de sous-titres et d'une voix qui expliquait les étapes de la procédure. Cette vidéo était identique à la vidéo utilisée dans l'expérience 2.

Après visionnage de ces vidéos, les participants avaient accès à un diaporama de photographies accompagnées de texte. Ce diaporama était identique à celui utilisé dans l'expérience 2. Les consignes demandaient aux participants de commencer à pratiquer le geste lors de cette partie. Une auto-évaluation, durant laquelle les participants devaient évaluer leur point de suture selon des critères prédéfinis et obtenaient des conseils pour améliorer leur réalisation, composait la dernière partie du module. Les consignes du module demandaient de répéter les deux dernières parties (réalisation et auto-évaluation) au moins 5 fois.

#### **4.2.1.2. Matériel de présentation**

Le module *e-learning* était accessible sur le service de cours en ligne de la Faculté de Médecine. Les étudiants pouvaient accéder au site avec un ordinateur portable mis à leur disposition.

#### **4.2.2. Matériel chirurgical et de simulation**

Le matériel chirurgical était identique à celui utilisé dans les expériences précédentes : (1) un porte-aiguille, (2) une pince à griffes, (3) une pince sans griffes, (4) des ciseaux, (5) un sachet qui contenait un fil serti d'une aiguille et une peau synthétique.

#### **4.2.3. Matériel de recueil de données**

##### **4.2.3.1. Mesures chronométriques**

L'expérimentateur utilisait un chronomètre pour mesurer la durée d'exécution des sutures.

##### **4.2.3.2. Questionnaires et échelles**

Les échelles utilisées pour noter la qualité des points de suture étaient l'échelle OSATS et l'échelle des 6 erreurs à ne pas commettre, utilisées dans les expériences précédentes (Annexe 1 et Annexe 2). Les deux questionnaires administrés aux participants, pré-expérience et post-expérience, étaient également similaires à ceux utilisés dans les expériences précédentes (Annexe 3 et Annexe 4).

### **4.3. Procédure**

L'expérience se déroulait sur deux sessions (Figure 43): une session *e-learning* et un atelier en présentiel. Un premier groupe réalisait la session *e-learning* en premier, puis l'atelier une semaine plus tard, le deuxième groupe réalisait d'abord l'atelier en présentiel puis la session *e-learning*. Les deux sessions étaient suivies d'une évaluation. La session *e-learning* et

l'évaluation successive duraient environ une heure. L'atelier en présentiel durait deux heures, puis l'évaluation quinze à trente minutes.

Durant la session *e-learning*, les participants étaient placés devant le matériel expérimental qui comprenait l'équipement chirurgical et l'ordinateur sur lequel ils pouvaient accéder au module. Tout d'abord le participant complétait le premier questionnaire, destiné à recueillir les données socio-démographiques et celles qui concernaient la confiance en soi dans la réalisation du point de suture. La session était ensuite divisée en plusieurs parties : tout d'abord la démonstration qui servait à l'expérimentateur à présenter le fonctionnement du module *e-learning* et à donner les instructions aux participants. Ensuite, lors de la partie apprentissage et entraînement, les participants pouvaient accéder au module *e-learning* et au matériel. Ils pouvaient consulter les instructions aussi longtemps qu'ils le désiraient mais ne pouvaient pas poser de questions à l'expérimentateur. Comme pour les études précédentes, les participants étaient libres de consulter les instructions durant la réalisation de la procédure, et pouvaient alterner comme ils le souhaitaient entre exécution des gestes et consultation. Ils devaient s'entraîner à réaliser la procédure en entier au moins 5 fois.

Pour évaluer leurs acquis, l'expérimentateur demandait aux participants de réaliser 3 points de suture, sans l'aide du module à la fin de la session d'*e-learning*. Il évaluait ces points à l'aide de l'échelle OSATS et de l'échelle des erreurs.

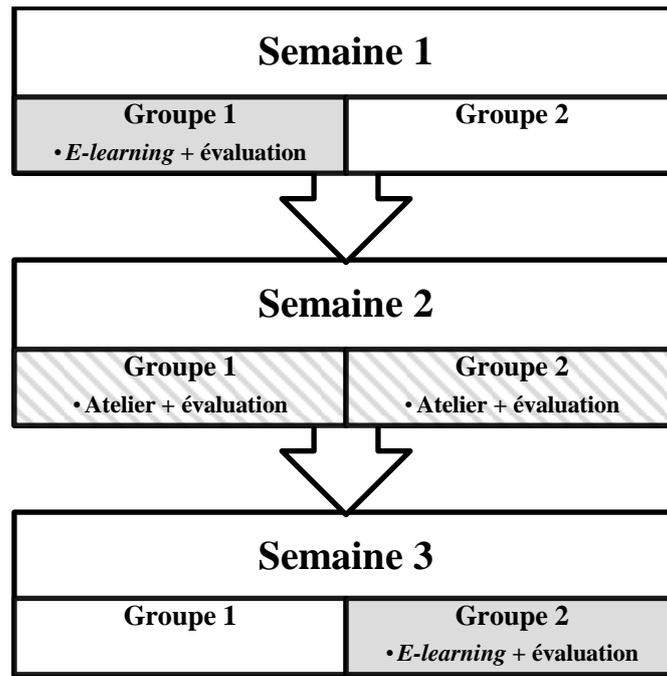


Figure 43. Organisation de la procédure expérimentale.

Après l'atelier en présentiel, les apprenants étaient également soumis à une session d'évaluation. L'atelier se déroulait sur 2 heures en groupes d'une trentaine d'étudiants. Lors de ces ateliers un enseignant montrait aux étudiants comment réaliser différents types de points de suture et leur permettait de s'entraîner avec du matériel chirurgical sur une peau synthétique. Après cet atelier, les participants venaient à la session d'évaluation. Il leur était demandé de réaliser 3 points de suture sans l'aide d'instructions. Pendant chaque réalisation l'expérimentateur évaluait la qualité des points avec l'échelle OSATS et l'échelle des erreurs. Il chronométrait également le temps d'exécution de chaque point.

À la fin de la dernière session, que celle-ci soit le cours en *e-learning* ou la session d'évaluation, les participants devaient compléter le questionnaire post-expérience puis un débriefing était réalisé avec chaque participant.

## 5. Résultats

Cette recherche a été menée sur une période de trois semaines. Nous avons concentré l'analyse statistique sur les effets de la répétition de la procédure et de l'organisation de l'apprentissage. Parce que les ateliers n'étaient pas enseignés par le même enseignant à chaque fois, nous avons vérifié l'effet du groupe d'ateliers et l'effet de l'enseignant. Les deux variables n'ont pas d'effet significatif sur les mesures effectuées.

L'analyse des résultats porte d'abord sur les mesures comportementales mesurées lors des deux sessions d'évaluation, à la suite du premier apprentissage (en *e-learning* ou en présentiel) et à la suite de l'entraînement (en *e-learning* ou en présentiel), pour évaluer les acquis des apprenants après chaque session. La suite de cette analyse se concentre sur l'évaluation de la confiance en soi, la compétence, l'intérêt, la facilité et les bénéfices de l'apprentissage perçus des étudiants avant et après la réalisation de l'expérience.

Les données brutes récoltées lors de cette expérience sont disponibles en ligne (Jannin, 2020e).

### **5.1. Durée de réalisation de la procédure**

#### ***Effet du nombre d'essais***

La durée de réalisation de la procédure, mesurée lors de la deuxième session d'évaluation, diminue pour tous les participants. Les participants mettent en moyenne 1,68mn ( $\sigma = 0,48$ ) pour l'essai 4 et 1,56mn ( $\sigma = 0,50$ ) pour l'essai 5. L'essai 6 prend en moyenne 1,47mn ( $\sigma = 1,41$ ). L'analyse de variance montre un effet significatif de la répétition de la procédure sur la durée de réalisation :  $F(2,82) = 4,92$ ;  $p = .009$ ;  $\eta^2 = 0,107$ .

La diminution de la durée de réalisation et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. L'analyse montre que la durée de réalisation diminue significativement de l'essai 4 à l'essai 5 :  $F(1,41) = 4,18$ ;  $p = .047$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

### **5.2. Nombre d'erreurs**

#### ***Effet du nombre d'essais***

Le nombre d'erreurs diminue avec les répétitions de la procédure (Figure 44). Les participants commettent un nombre d'erreurs moyen de 0,77 ( $\sigma = 0,61$ ) la première fois, de 0,93 ( $\sigma = 0,72$ ) la deuxième et de 0,58 ( $\sigma = 0,65$ ) la troisième fois. Le nombre d'erreurs semble se stabiliser lors de la deuxième session, avec un nombre d'erreur moyen de 0,56 ( $\sigma = 0,66$ ) à la quatrième évaluation, de 0,63 ( $\sigma = 0,61$ ) à la cinquième et de 0,51 ( $\sigma = 0,58$ ) à la sixième. L'analyse de variance montre un effet significatif de la répétition de la procédure sur le nombre d'erreurs :  $F(5,205) = 2,70$ ;  $p = .022$ ;  $\eta^2 = 0,062$ .

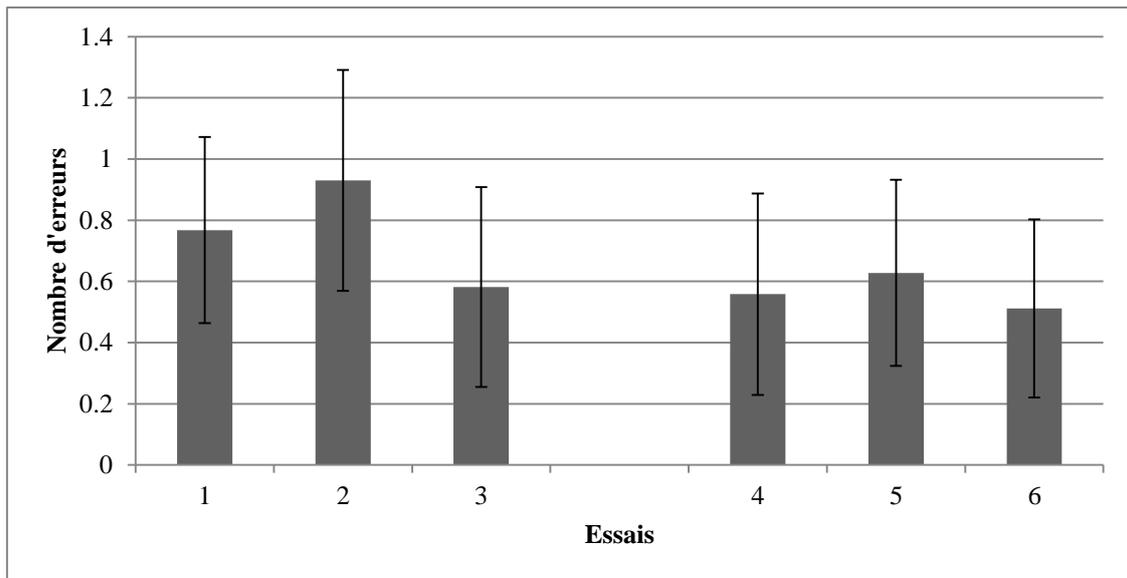


Figure 44. Nombre d'erreurs pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types.

La diminution du nombre d'erreurs et sa stabilisation ont été confirmées par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent une diminution significative de 0,35 de l'essai 2 à l'essai 3 :  $F(1,41) = 5,36; p = .026$ .

Les résultats d'une analyse par contrastes montrent une différence entre la session 1 et la session 2, les participants ayant progressé de façon significative entre les deux sessions :  $F(1,41) = 4,35; p = .043$ .

Aucun autre effet n'est significatif.

### 5.3. Score OSATS

#### 5.3.1. Effet du nombre d'essais

La qualité des points de suture augmente avec les répétitions de la procédure (Figure 45). Les participants ont un score OSATS moyen de 23,65 ( $\sigma = 3,72$ ) la première fois, de 26,14 ( $\sigma = 3,73$ ) la deuxième fois et de 27,28 ( $\sigma = 4,07$ ) la troisième fois. Le score OSATS moyen continue d'augmenter lors de la deuxième session, avec un score moyen de 28,91 ( $\sigma = 3,03$ ) à la première évaluation, de 30,19 ( $\sigma = 3,23$ ) à la deuxième et 31,28 ( $\sigma = 3,26$ ) à la troisième. L'analyse de variance montre un effet significatif de la répétition de la procédure sur le score OSATS :  $F(5,205) = 50,77; p < .001; \eta^2 = 0,553$ .

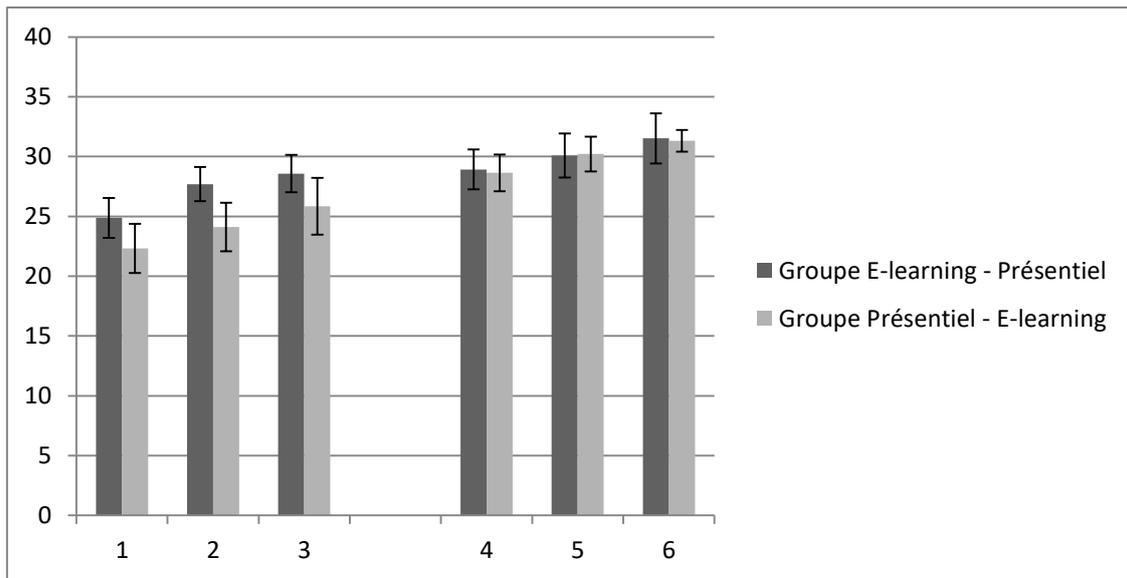


Figure 45. Scores OSATS pour les deux sessions en fonction de l'organisation de l'apprentissage. Les barres représentent les écarts-types.

L'amélioration de la qualité des points de suture a été confirmée par des comparaisons analytiques par paires. Celles-ci montrent des différences de performance significatives de l'essai 1 à l'essai 6. Le score OSATS augmente de 2,49 points de l'essai 1 à l'essai 2 :  $F(1,41) = 38,40$ ;  $p < .001$  ; et de 1,14 points entre l'essai 2 et l'essai 3 :  $F(1,41) = 10,46$ ;  $p = .002$ . L'amélioration des performances est un peu moins marquée entre l'essai 3 et l'essai 4, avec une augmentation de 1,63 points :  $F(1,41) = 8,83$ ;  $p = .005$ ; et entre l'essai 4 et l'essai 5, avec une augmentation de 1,28 points :  $F(1,41) = 9,84$ ;  $p = .003$ . Le score OSATS augmente encore de 1,09 points entre l'essai 5 et l'essai 6 :  $F(1,41) = 5,27$ ;  $p = .027$ .

Les résultats d'une analyse par contrastes montrent une différence entre la session 1 et la session 2, les participants ayant progressé de façon significative entre les deux sessions :  $F(1,41) = 69,25$ ;  $p < .001$ .

### 5.3.2. Interaction entre le nombre d'essais et l'organisation de l'apprentissage

La Figure 45 montre que le score OSATS augmente dans les deux conditions expérimentales au cours des répétitions, mais pour les trois essais de la première session les participants ayant commencé l'apprentissage par le cours en présentiel réalisent des points de moins bonne qualité que les participants ayant commencé par le cours en *e-learning*. Les résultats révèlent un effet d'interaction entre la répétition de la procédure et l'organisation de l'apprentissage :  $F(5,155) = 4,70$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0,132$ .

Les analyses par contrastes confirment ces résultats. Les participants commençant par le cours en présentiel ont des scores OSATS significativement plus faibles sur les trois premiers essais que les participants commençant par le cours en *e-learning*. Au premier essai, les participants commençant par le cours en présentiel ont un score OSATS moyen de 22,32 contre 24,87 pour les participants commençant par le cours en *e-learning* :  $F(1,41) = 5,45$ ;  $p = .015$ . Au deuxième essai, les participants commençant par le cours en présentiel ont un score OSATS moyen de 24,11 contre 27,70 pour les participants commençant par le cours en *e-learning* :  $F(1,41) = 12,28$ ;  $p = .001$ . Au troisième essai, les participants commençant par le cours en présentiel ont un score OSATS moyen de 25,84 contre 28,57 pour les participants commençant par le cours en *e-learning* :  $F(1,41) = 6,63$ ;  $p = .014$ .

La différence n'est pas significative sur les autres essais.

#### 5.4. Évaluations subjectives de l'apprentissage

Les participants notent leur confiance en soi pour la réalisation d'un point de suture dans une situation simulée significativement plus élevée après l'entraînement (4,21 ;  $\sigma = 0,67$ ) qu'avant (3,63;  $\sigma = 1,09$ ) :  $F(1,40) = 15,92$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,285$ . La confiance en soi pour réaliser un point de suture dans une situation réelle augmente également entre avant les deux sessions d'apprentissage (1,98 ;  $\sigma = 0,89$ ) et après (2,79 ;  $\sigma = 0,80$ ) :  $F(1,40) = 29,65$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,426$ ; ainsi que leur compétence perçue entre avant les deux sessions d'apprentissage (2,58 ;  $\sigma = 0,85$ ) et après (3,07 ;  $\sigma = 0,66$ ) :  $F(1,40) = 14,70$  ;  $p < .001$ ;  $\eta^2=0,269$ . Sur les trois items évaluant l'intérêt perçu de l'exercice la moyenne des scores est de 4,94 ( $\sigma = 0,22$ ) sur 5. La facilité d'apprentissage perçue présente un score moyen de 3,42 ( $\sigma = 0,82$ ) sur 5 en moyenne. Sur les deux items qui concernent les bénéfices perçus de l'apprentissage la moyenne des scores est de 4,57 ( $\sigma = 0,73$ ) sur 5.

Aucun autre effet n'est significatif.

## 6. Discussion

Cette étude visait à tester les avantages d'une approche de *blended learning* utilisant la simulation pour la formation à la réalisation d'un point de suture et à comparer deux organisations pédagogiques. Le but principal était de déterminer si un geste chirurgical pouvait être appris de façon efficace avec une approche de *blended learning* en simulation. Il s'agissait également d'examiner si la réalisation de la séance de *e-learning* avant l'atelier en

présentiel amènerait à de meilleurs résultats. Commencer par le *e-learning* pourrait permettre de servir de pré-entraînement pour la simulation en présentiel avec un instructeur. Comme pour les études précédentes, il s'agissait également de valider la situation d'apprentissage procédural par la simulation en *e-learning*.

Les performances de deux groupes randomisés ont été étudiées. Le premier groupe commençait le programme par le cours en *e-learning*, suivi de l'atelier en face-à-face, alors que le second groupe faisait l'inverse. Le résultat principal se rapporte à l'effet de l'organisation du *blended learning* sur l'apprentissage. Cette expérience conforte également les résultats des expériences précédentes concernant la validité de la situation d'apprentissage de geste technique par simulation et les approfondit en plaçant les apprenants dans une situation de *blended learning*.

#### **6.1. Vérification de la validité interne**

Nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'essais devrait avoir un effet positif sur les performances des participants et que cet apprentissage serait visible à travers l'étude de l'atomisation de l'action, montrant le passage de la première à la deuxième phase de l'apprentissage procédural.

Les résultats de cette étude montrent, comme pour les expériences précédentes, que les performances des participants suivent l'allure d'une courbe d'apprentissage. Les résultats montrent une diminution de la durée totale de réalisation de la tâche, ainsi que l'amélioration de la qualité des points de suture évaluée par le score OSATS et le nombre d'erreurs. Par ailleurs, la confiance en soi et la compétence perçue des apprenants augmente après la réalisation du cours en *blended learning*, montrant que les apprenants ont conscience de l'amélioration de leurs performances.

Le programme de *blended learning* a été bénéfique pour les deux groupes, comme l'indiquent les résultats de la deuxième session d'évaluation. Les résultats des évaluations font apparaître une courbe d'apprentissage formée par les performances des apprenants. Cette courbe d'apprentissage révèle à la fois la réduction du temps d'exécution et du nombre d'erreurs, ainsi que l'amélioration de la qualité des gestes (score OSATS). Ces résultats confirment l'acquisition de la procédure. De plus, comme les deux groupes continuent de progresser après la première session (apprentissage *e-learning* ou atelier), il

semble que l'approche de *blended learning* constitue un apport pertinent pour l'apprentissage d'un geste technique. Par conséquent, l'utilisation de cette approche semble appropriée pour enseigner des gestes techniques.

## **6.2. Organisation de la formation**

Pour cette étude il avait été supposé que la réalisation de la séance de *e-learning* pourrait servir de pré-entraînement avant l'atelier en présentiel avec un instructeur. En ce qui concerne l'organisation pédagogique de la formation, le groupe qui réalisait d'abord le cours en *e-learning* présentait un avantage significatif concernant la qualité des gestes. Les participants dans cette condition ont obtenu plus rapidement (c'est-à-dire après une seule session), des scores OSATS satisfaisants, comparativement aux participants du deuxième groupe. Sur les autres mesures, les deux groupes ne montrent pas de différence significative.

Nous avons supposé que la différence entre les deux groupes pourrait être due à un effet de pré-entraînement (Fraser, Ayres & Sweller, 2015; Mayer, Mathias & Wetzell, 2002). En effet, lors de la situation de simulation en *e-learning*, le module d'apprentissage présentait et détaillait toutes les étapes de la procédure. Ce module pourrait être considéré comme un exemple résolu qui présente la bonne façon de réaliser un point de suture (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). L'exposition à un exemple résolu permet aux apprenants de s'appuyer sur celui-ci pour réaliser plus facilement la procédure. Le formateur en situation de présentiel n'a pas le temps de proposer un suivi étape par étape adapté au rythme de chaque apprenant. Le *e-learning* permet aux apprenants de progresser à leur rythme car ils sont en charge de la façon dont ils consultent les instructions. De plus, parce qu'ils se trouvent potentiellement dans un environnement d'apprentissage non supervisé et silencieux, les participants qui commençaient par la session d'apprentissage *e-learning* débuteraient leur formation dans des conditions susceptibles de générer une charge cognitive moindre. Cela pourrait leur permettre d'optimiser l'apprentissage sur les deux sessions.

## **7. Conclusion**

Cette cinquième expérience avait pour but de tester l'efficacité de l'apprentissage d'un geste chirurgical par *blended learning* et de comparer deux types d'organisation de cet apprentissage. Deux groupes ont été comparés : un groupe qui commençait l'apprentissage du point de suture par une session d'entraînement simulé en *e-learning* puis qui réalisait une deuxième session de simulation en présentiel, et un groupe qui commençait l'apprentissage

par une session en présentiel puis qui réalisait une session en *e-learning*. L'objectif était d'étudier si le *blended learning* par simulation pouvait constituer une solution efficace pour permettre aux étudiants d'apprendre des gestes chirurgicaux. Cette expérience avait également comme objectif d'examiner si le fait de commencer par une session de *e-learning* avant de réaliser un cours de simulation en présentiel avec un enseignant, permettait de réaliser un pré-entraînement facilitant l'apprentissage (Fraser, Ayres & Sweller, 2015). Dans cette expérience, les résultats font apparaître que les apprenants ayant commencé l'apprentissage par le *e-learning* ont de meilleurs scores OSATS sur la première session que les apprenants ayant commencé par le cours en présentiel. Les résultats deviennent similaires sur la deuxième session. Commencer l'apprentissage par le *e-learning* devrait pouvoir permettre d'atteindre un score satisfaisant en moins d'essais que de commencer par le cours en présentiel. Cela pourrait être dû à un effet de pré-entraînement. A la fin de l'apprentissage, les scores OSATS des deux groupes ne sont pas statistiquement différents et continuent d'augmenter. Aucune autre différence n'apparaît en termes de nombre d'erreurs ou de durée de réalisation. Ces résultats indiquent que le fait de commencer par un cours en *e-learning* qui détaille la procédure étape par étape et qui permet aux apprenants de moduler l'utilisation des instructions selon la progression de leur expertise, est susceptible d'avoir un effet facilitateur correspondant à celui d'un pré-entraînement par l'utilisation d'un exemple résolu (Fraser, Ayres & Sweller, 2015; Sweller, 2006). Cependant la différence entre les deux groupes se réduit avec la pratique et le nombre de répétitions.

Par ailleurs, nous avons observé l'effet bénéfique du *blended learning* et du recours à plusieurs séances de cours sur l'apprentissage d'une procédure par simulation. D'une part, les résultats font apparaître que le *blended learning* permet aux étudiants, grâce à la répétition de la procédure, d'apprendre un geste chirurgical. D'autre part, quelle qu'ait été la première session, en présentiel ou en entraînement en *e-learning*, les apprenants continuaient de progresser lors de la deuxième session. L'utilisation d'une formation proposant un cours unique, forcément limité dans le temps, ne permettrait donc pas aux étudiants de maîtriser la procédure. La répétition constitue un élément-clé dans l'apprentissage d'un geste ou d'une procédure (Anderson, 2013; Ganier & de Vries, 2016) et l'ajout d'un cours, sans charge d'enseignement supplémentaire, utilisant la simulation en *e-learning*, durant lequel les étudiants peuvent s'entraîner lorsqu'ils le désirent, permet

d'augmenter le nombre de répétitions possible. De plus, la création d'un module en *e-learning* permet de s'assurer que tous les apprenants disposent des mêmes bases et informations lors de l'apprentissage (Bloomfield, While & Roberts, 2008; Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). En effet même si, comme c'était le cas lors de cette expérience, les cours en présentiel suivent une progression pédagogique comportant des éléments requis, il est pratiquement impossible de s'assurer que le cours se déroule exactement comme prévu (Welsh, Wanberg, Brown & Simmering, 2003). Certains enseignants peuvent choisir de mettre l'accent sur un élément précis de l'entraînement, alors que d'autres peuvent passer plus rapidement sur celui-ci. Le style pédagogique du formateur peut changer et des imprévus peuvent se dérouler durant le cours. L'ajout d'un cours en *e-learning* durant la formation peut permettre de s'assurer que tous les étudiants reçoivent des instructions similaires. Le cours en présentiel devrait permettre ensuite de compléter ces instructions en permettant au formateur et à l'apprenant d'interagir sur des éléments plus complexes de l'apprentissage (Garrison & Kanuka, 2004; Graham, 2013).

Les résultats de cette étude soulèvent de nouvelles questions sur l'approche de *blended learning* utilisant la formation par simulation. La première question concerne la comparaison entre une approche mixte et des approches en *e-learning* ou en face à face uniquement. Bien que l'approche mixte semble généralement plus efficace que les approches simples pour l'apprentissage non procédural (Graham, 2013; Sitzmann, Kraiger, Stewart & Wisher, 2006; Cantarero-Villanueva et al., 2012), des recherches supplémentaires sont nécessaires pour estimer la valeur ajoutée du *blended learning* pour la formation par simulation. Une plus grande variété de variables dépendantes pourrait être étudiée pour comparer les organisations pédagogiques, y compris la quantité d'aide demandée au formateur lors de l'atelier en face à face ou encore la mesure de la charge cognitive induite par différentes organisations. Cette étude présente d'autres limites, notamment la taille de l'échantillon des participants. Cependant, ce cadre expérimental apporte la preuve que le *blended learning* utilisant une situation de simulation peut être bénéfique pour la formation à la pratique d'un geste technique d'une grande promotion d'étudiant. Ces résultats fournissent par ailleurs des éléments pratiques sur la manière d'organiser le *blended learning* en utilisant la simulation, en privilégiant la séance en *e-learning* en première intention puis la séance en présentiel dans un second temps.



## DISCUSSION GENERALE

Cette dernière section est consacrée à une synthèse des résultats de la thèse et à leur discussion. Les principaux résultats et les limites inhérentes aux expériences présentées dans cette thèse sont abordés. Des perspectives possibles pour des recherches à venir sont proposées et les implications de cette thèse aux niveaux théorique, méthodologique et pédagogique sont rappelées en guise de conclusion.

### 1. Principaux résultats

La synthèse des résultats et de la contribution au domaine de l'apprentissage procédural et de l'apprentissage par simulation et *blended learning* sera présentée en quatre sous-sections. Tout d'abord les résultats relatifs aux théories de l'apprentissage procédural seront présentés. Cette section abordera les résultats qui concernent la première phase de l'apprentissage de procédures à travers l'atomisation de l'action. Ensuite, nous présenterons les conseils méthodologiques sur la conception d'expériences portant sur l'apprentissage de gestes et procédures, qui concernent le choix du paradigme d'étude et l'importance de la prise en compte de la répétition. Puis, les apports de la thèse sur la conception de supports pédagogiques pour l'apprentissage procédural concernant le point de vue de présentation seront discutés. Enfin, la dernière sous-section concernera l'efficacité de la situation d'apprentissage en simulation en *e-learning* et *blended learning*.

#### 1.1. Atomisation de l'action et phase déclarative de l'apprentissage procédural

Nous avons pu voir dans la revue de littérature qu'Anderson (1982, 1983, 2014) sépare l'apprentissage procédural en trois phases : la phase déclarative, la phase de compilation des connaissances et la phase procédurale. La phase déclarative se situerait au début de l'apprentissage. Durant celle-ci, l'apprenant se repose fortement sur les documents pédagogiques, utilisant des processus d'interprétation pour traduire les instructions déclaratives sous forme exécutable (Richard, 1990). Ces processus seraient extrêmement coûteux cognitivement. C'est également durant cette phase que se déroulerait le phénomène d'atomisation de l'action décrit par Vermersch (1985) : une alternance entre la consultation des instructions et l'exécution de la procédure suivant une succession de cycles courts. L'atomisation de l'action serait due à la nécessité d'avoir un accès constant aux

instructions pour les processus d'interprétation et au fait que la charge cognitive induite par ces processus rend difficile le fait de conserver les informations en mémoire de travail (Anderson, 1982 ; Vermersch, 1985).

Dans les quatre premières études nous avons recueilli des mesures comportementales qui concernaient le nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions, pour les groupes libres de consulter les instructions à leur guise. Les résultats de ces quatre études confirment que le début de l'apprentissage procédural se caractérise par un recours systématique aux instructions (Ganier, Hoareau & Devillers, 2013) et par de très nombreuses alternances entre consultation des instructions et exécution des actions sur le premier essai. À chaque fois, le nombre d'alternances, de 33 à 53 fois en moyenne, était plus important que le nombre d'instructions (images ou phrases) de la procédure, qui était de 16 ou 17 selon l'expérience. Les apprenants consultaient donc plusieurs fois chaque instruction. De plus, lorsqu'elle a été mesurée, la durée de consultation d'une instruction, c'est à dire le temps moyen d'activation d'une instruction avant d'exécuter les gestes, était globalement faible. Les participants consultaient donc très souvent les instructions et de façon brève sur le premier essai. Cette façon de réaliser la procédure s'apparente bien à ce que Vermersch (1985) décrit comme une atomisation de l'action.

Si le processus responsable de l'atomisation de l'action est bien la forte charge cognitive imposée par les processus d'interprétation, alors les individus ne devraient plus réaliser d'atomisation de l'action dans les phases suivantes de l'apprentissage. En effet, grâce au processus de compilation des connaissances qui se déroule en phase intermédiaire, les apprenants n'ont plus besoin d'interpréter les informations déclaratives pour réaliser la procédure (Tenison & Anderson, 2015).

Les résultats des quatre premières expériences confirment que, dès le deuxième essai, le nombre d'alternances entre consultation et exécution est plus faible que le nombre d'instructions présentées. Cette diminution correspondrait à la phase de compilation des connaissances (Anderson, 1983). Ces résultats semblent indiquer que c'est bien la charge cognitive causée par l'interprétation des connaissances déclaratives délivrées par les instructions qui est la cause de l'atomisation de l'action. Selon Anderson (2014), la deuxième phase de l'apprentissage procédural permettrait non seulement de réduire le recours aux

instructions mais également d'améliorer la vitesse, ainsi que la qualité, de réalisation de la procédure. En effet, les deux processus caractéristiques de la phase de compilation des connaissances sont le processus de procéduralisation, qui permet de construire des règles de production qui ne nécessitent plus la présence des informations déclaratives en mémoire de travail ; et le processus de composition, qui permet de lier des séquences en une seule règle de production et donc d'accélérer la réalisation en créant de nouveaux opérateurs qui correspondent à des séquences d'étapes (Anderson, 1982; Tenison & Anderson, 2015). Ces processus permettent également de faire diminuer le nombre d'erreurs dans la réalisation. Nos résultats sont cohérents avec cette idée car la durée d'exécution du geste diminue au fur et à mesure des essais pour l'ensemble des participants dans les quatre expériences. L'amélioration du traitement des informations qui permet l'application des actions est également visible à travers l'amélioration de la qualité des points de suture, mesurée par le score OSATS.

Ainsi, nous pouvons distinguer les deux premières phases de l'apprentissage procédural dans nos résultats. Tout d'abord, la phase déclarative est caractérisée par l'atomisation de l'action, visible à travers un très grand nombre d'alternances entre courtes consultations des instructions et exécutions des actions lors du premier essai. Puis la phase de compilation de connaissances est caractérisée par une diminution du recours aux instructions et une amélioration des performances (Anderson, 1982).

### **1.2. Effet des paradigmes d'étude et de la répétition sur les variables**

Deux éléments principaux vont être traités dans cette sous-section. Le premier concerne l'effet d'un paradigme d'exécution immédiate comparativement à un paradigme d'exécution différée. Le second concerne l'effet de la prise en compte des répétitions de la procédure sur les variables étudiées.

Nous avons pu voir que l'apprentissage de procédures induisait une manière de consulter les instructions différente de celle induite par l'apprentissage déclaratif. Au début de l'apprentissage de procédures, les apprenants ont tendance à réaliser de très nombreuses alternances entre courtes consultations des instructions et exécutions des actions. Après avoir confirmé que l'atomisation de l'action concernait effectivement la première phase de l'apprentissage procédural et ne dépendait pas du format de présentation des instructions, nous avons souhaité démontrer qu'il était indispensable de tenir compte de ce processus

lors de la mise en place d'expériences concernant l'apprentissage procédural. Nous avons donc émis l'hypothèse que suivre un paradigme d'exécution immédiate lors de l'étude de l'apprentissage procédural permettrait de faciliter l'apprentissage, puisqu'un paradigme d'exécution différée pourrait imposer une charge cognitive plus importante en mémoire de travail.

En effet, de nombreuses études séparent la réalisation en deux phases distinctes : une phase de consultation des instructions suivie d'une phase d'exécution des actions (Ayres, Marcus, Chan & Qian, 2009; Garland & Sanchez, 2013; Mykityshyn, Fisk & Rogers, 2002; Palmiter & Elkerton, 1993). Ce paradigme d'exécution différée s'oppose au paradigme d'exécution immédiate qui permet à l'apprenant d'alterner entre consultation et exécution.

Nous avons effectivement pu voir que le fait d'imposer un paradigme d'exécution différée induisait de moins bons résultats pour les participants confrontés à cette situation que pour ceux qui pouvaient alterner entre consultation et exécution. En effet, les participants qui devaient consulter les instructions dans un paradigme d'exécution différée avaient besoin de consulter les instructions plus longtemps et sur davantage d'essais. De plus, la qualité de leurs points de suture augmentait plus lentement que les autres. Le paradigme d'étude utilisé influence donc les variables. L'apprentissage semble plus efficace pour les participants qui pouvaient réaliser une atomisation de l'action que pour les participants qui devaient séparer chaque essai en deux phases.

Selon le modèle d'Anderson, lors de la phase déclarative (Anderson, 1982), les instructions que reçoivent les participants sont encodées sous la forme de connaissances déclaratives (Anderson, 1982). Des processus d'interprétation permettent de traduire ces connaissances déclaratives sous forme exécutable (Richard, 1990). Les processus d'interprétation doivent avoir accès à l'information à chaque étape de la procédure pour pouvoir réaliser cette traduction et pour que l'apprenant puisse ainsi exécuter les actions. C'est pourquoi, au début de l'apprentissage procédural, les apprenants ont recours aux instructions de façon systématique (Bovair & Kieras, 1991; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). Vermersch (1985) a remarqué que ce recours systématique aux instructions était réalisé en actions très courtes, qu'il a appelées actions élémentaires. Les apprenants auraient tendance à consulter les instructions, puis à réaliser une seule action élémentaire. Cette atomisation de l'action serait

liée au coût cognitif des processus d'interprétation qui imposeraient une forte charge cognitive en mémoire de travail (Anderson, 1982; Beaunieux et al., 2006; Vermersch, 1985). Imposer un paradigme d'exécution différée engendrerait donc une surcharge cognitive susceptible de biaiser les résultats de l'étude.

Il nous paraît donc important de prendre en compte, lors de la conception de méthodes d'étude, la façon dont les participants peuvent consulter les instructions. Si nous voulons que les résultats des études menées dans le domaine de l'apprentissage procédural soient valides et applicables en situation réelle, il est par conséquent important de respecter cette atomisation dans le paradigme d'étude choisi.

Le deuxième élément méthodologique, sur lequel il nous semble important de revenir, correspond à la prise en compte des répétitions dans l'étude de l'apprentissage procédural. Comme nous l'avons rappelé plus haut, l'apprentissage procédural diffère de l'apprentissage déclaratif par l'atomisation de l'action, mais également par la nécessité de répéter la procédure étudiée. Cette nécessité de répétition constitue une des distinctions principales entre l'acquisition de connaissances déclaratives et l'acquisition de connaissances procédurales (Mayer, 2014). Il a été montré que la pratique, la répétition d'une habileté ou d'un geste, permet d'améliorer la performance (Ericsson, 2017). C'est par l'entraînement pratique que l'apprenant peut construire en mémoire à long terme un schéma correspondant à la procédure, acquise et automatisée (Grau, Doireau & Poisson, 1998; Hoareau, Querrec, Buche & Ganier, 2017). Selon Anderson (1982, 1983, 2014), la répétition de la procédure est nécessaire pour le processus de compilation des connaissances qui permet aux apprenants d'accélérer l'exécution de la procédure et de se détacher des instructions.

La littérature est claire sur le fait que la répétition de la procédure est nécessaire pour l'apprentissage. Il nous semble de ce fait nécessaire de prendre en compte la répétition de la procédure lors d'études sur l'apprentissage procédural, car elle constitue un élément-clé de celui-ci. De plus, les différents traitements cognitifs qui interviennent à différents moments de l'apprentissage de procédures pourraient avoir un effet distinct sur les performances et interagir avec les variables étudiées. Ganier et de Vries (2016) ont en effet montré que la répétition de la procédure pouvait interagir avec l'effet du format de présentation des

instructions. Nous avons donc supposé que les variables étudiées pourraient avoir des effets différents sur les performances selon la phase de l'apprentissage dans lequel l'individu se situerait. Les résultats concernant cette hypothèse apparaissent tout au long des différentes expériences menées.

Dans les cinq expériences menées lors de cette thèse, nous avons fait le choix de prendre en compte plusieurs répétitions de la procédure, d'une part pour avoir un regard plus complet sur l'apprentissage procédural, et d'autre part pour vérifier l'impact des conditions étudiées à différents moments de l'apprentissage. Dans toutes les expériences, sauf l'expérience 4, nous avons pu remarquer que le nombre d'essais interagissait avec au moins une variable. Dans l'expérience 1, les résultats font apparaître une interaction entre le nombre d'essais et le format de présentation des instructions sur la durée de réalisation de la procédure, sur la durée de consultation des instructions, et sur la durée d'exécution du geste. Dans l'expérience 2, le nombre d'essais interagit avec le paradigme d'étude et influence les performances pour ce qui concerne la durée de consultation des instructions et le score OSATS. Les résultats de l'expérience 3 font apparaître une interaction entre le nombre d'essais et le point de vue de présentation des instructions sur la durée de réalisation de la procédure. Enfin, dans l'expérience 5, le nombre d'essais interagit avec l'organisation de l'apprentissage sur le score OSATS. Dans la plupart des cas d'interaction présentés, l'effet d'une variable n'est pas le même sur les premiers et sur les derniers essais étudiés. Par exemple, dans l'expérience 2, les participants placés dans un paradigme d'exécution atomisée consultent plus longtemps les instructions que ceux placés dans un paradigme d'exécution différée, sur le premier essai. Ces résultats s'inversent au deuxième essai : les participants placés dans un paradigme d'exécution atomisée consultent moins longtemps les instructions que ceux placés dans un paradigme d'exécution différée sur tous les autres essais. Ces résultats font apparaître clairement que la répétition de la procédure peut interagir avec les variables étudiées. Il nous semble donc nécessaire de prendre en compte, lors de la conception d'un protocole expérimental, les nombreux essais que les apprenants doivent réaliser lors de l'apprentissage, et de prévoir plusieurs répétitions de la procédure.

Suivant ces résultats, il nous paraît indispensable, lors de la conception d'une expérience portant sur l'apprentissage procédural de choisir un paradigme d'étude qui respecte la façon dont l'apprentissage procédural se déroule en réalité et d'étudier celui-ci sur plusieurs

essais. Cela permettra d'obtenir des résultats qui seront ensuite applicables sur le terrain et conformes à ceux qui auraient pu être obtenus en situation réelle, donc d'une plus grande validité écologique.

### **1.3. Point de vue de présentation des instructions**

En apprentissage par *e-learning*, ou dans la partie en ligne d'un cours de *blended learning*, les documents pédagogiques constituent le seul moyen de transmettre des informations à l'apprenant. Un soin particulier doit donc être apporté à leur conception. Nous nous sommes intéressés en particulier au point de vue des prises de vues, égocentré ou hétérocentré, utilisé lors de la réalisation du support de présentation des instructions pour un cours en *e-learning* et simulation. Dans une population diverse d'apprenants, certains auront de faibles et d'autres de bonnes aptitudes visuo-spatiales. Le support devant satisfaire au plus grand nombre, dans les expériences 3 et 4 de cette thèse, nous nous sommes intéressés aux interactions entre les aptitudes des apprenants et le point de vue du support.

Nous avons pu voir, dans la partie théorique de cette thèse, que lors d'apprentissages à partir de documents multimédia, les informations imagées sont traitées dans un canal séparé des informations verbales (Paivio, 1990). Selon Mayer (2014), face au document, l'apprenant sélectionne les images pertinentes, les organise en une représentation structurée en mémoire de travail, puis les intègre avec la représentation verbale. Dans le cas d'un apprentissage procédural, l'individu doit également traduire les instructions en une forme exécutable à travers des processus d'interprétation (Anderson, 1982). Ces traitements réalisés sur les documents procéduraux sont coûteux en ressources cognitives (Beaunieux et al., 2006). Le point de vue de présentation des images dans un document multimédia pourrait faciliter ou compliquer le traitement, et donc l'apprentissage. Lors de l'apprentissage procédural l'individu doit réaliser le geste. Lorsqu'il le réalise, son point de vue sur l'action est égocentré, ou à la première personne. Si les instructions sont présentées selon un point de vue hétérocentré, ou à la troisième personne, l'apprenant doit appliquer une transformation mentale de l'image pour pouvoir réaliser l'action. La première phase de l'apprentissage procédural étant coûteuse en ressources cognitives (Beaunieux et al., 2006), la nécessité de réaliser cette transformation pourrait nuire à l'apprentissage. La supériorité du point de vue égocentré pour l'apprentissage a déjà été montrée par Fiorella, van Gog, Hoogerheide et Mayer (2017). Cependant, si la charge cognitive est influencée par les

caractéristiques des documents pédagogiques, elle est également influencée par les caractéristiques individuelles (Sweller, 1994, 2010). C'est pourquoi nous avons supposé que les aptitudes visuo-spatiales des individus pourraient jouer un rôle dans le traitement des instructions. La transformation mentale des instructions hétérocentrées pourrait être facilitée pour les individus disposant de fortes aptitudes visuo-spatiales. Celle-ci serait alors moins coûteuse en ressources cognitives. Au contraire, les individus disposant de faibles aptitudes visuo-spatiales seraient pénalisés par les instructions hétérocentrées, dont le traitement imposerait une forte charge cognitive qui pourrait perturber l'apprentissage.

Dans les deux expériences, nous avons comparé les deux supports, égocentré, et hétérocentré sur les performances des étudiants. Cependant, dans l'expérience 3, nous avons fait passer aux étudiants les tests de rotation mentale et de prise de perspective après l'apprentissage, afin de déterminer si les résultats dépendaient de leurs aptitudes visuo-spatiales. Tandis que dans l'expérience 4 nous avons fait passer le test de rotation mentale aux étudiants en première intention, afin de sélectionner les étudiants aux deux extrémités de la courbe de gauss, dans le but de déterminer en quoi les aptitudes visuo-spatiales influaient sur le traitement du support au cours de l'apprentissage. Dans les deux études, les participants confrontés au point de vue égocentré réalisaient des points de suture de meilleure qualité que les participants confrontés au point de vue hétérocentré. Ceci se traduisait par un nombre d'erreurs plus faibles dans l'expérience 3 et par de meilleurs scores OSATS dans l'expérience 4. De même, il semblerait que le point de vue égocentré soit le plus profitable en termes de vitesse de réalisation, même si cela n'est visible que pour la deuxième étude.

En ce qui concerne les aptitudes visuo-spatiales, nous avons montré que les participants ayant des aptitudes visuo-spatiales plus élevées atteignent de meilleurs niveaux de performance que ceux ayant de faibles aptitudes, quel que soit le point de vue du support. Comme certains auteurs l'ont montré sur d'autres gestes chirurgicaux (Keehner et al., 2004; Wanzel, Hamstra, Anastakis, Matsumoto & Cusimano, 2002; Wanzel et al., 2003), de bonnes aptitudes visuo-spatiales peuvent faciliter le processus d'apprentissage du point de suture. Il est toutefois compliqué de savoir si les individus avec des aptitudes visuo-spatiales élevées réalisent de meilleures performances car il leur est plus facile de traiter les instructions ou parce que ces aptitudes facilitent l'apprentissage de gestes techniques.

En revanche, l'influence des aptitudes visuo-spatiales dans le traitement des instructions hétérocentrées n'a pas été démontrée dans ces études. En effet, même si dans l'expérience 3 de bonnes aptitudes visuo-spatiales étaient corrélées à de meilleurs résultats en condition hétérocentrée, nous n'avons pas constaté d'interaction entre le point de vue et les aptitudes visuo-spatiales dans l'expérience 4. Il est donc difficile de conclure sur l'influence des aptitudes visuo-spatiales sur le traitement du point de vue de présentation des instructions.

Ainsi, même s'il nous est impossible de l'expliquer par l'influence des aptitudes visuo-spatiales, nous avons pu montrer que le point de vue égocentré induisait de meilleures performances chez les apprenants. En matière de recommandation pour la conception de documents procéduraux multimédias, le point de vue égocentré nous semble donc à privilégier.

Cependant, lors de l'élaboration de recommandations pratiques découlant d'expériences, il est important de prendre en compte le contexte de réalisation de ces expériences ainsi que l'objet de celles-ci. En effet, les résultats obtenus ici montrent la supériorité du point de vue égocentré dans un contexte particulier, la procédure réalisée étant assez précise et se déroulant à un seul endroit de l'espace. Lors de la sélection d'un point de vue pour la création d'instructions photographiques pour une procédure, il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques de cette procédure et les informations visuelles nécessaires aux apprenants. Différents types de procédures nécessitent différents types d'informations visuelles : des instructions photographiques égocentrées pour l'apprentissage de la guitare ne seront par exemple d'aucune utilité. En effet, dans ce cas la personne qui réalise le geste n'a que peu de visibilité sur l'action. Dans le cas d'une procédure pour laquelle un déplacement est nécessaire, un point de vue égocentré peut être utile, mais l'ajout d'un point de vue extérieur qui illustre le déplacement ainsi que l'espace dans lequel celui-ci se déroule pourrait également apporter des informations nécessaires à la compréhension de la procédure (Boucheix, Gauthier, Fontaine & Jaffeux, 2018). Le choix d'un point de vue égocentré n'est donc pas systématiquement bénéfique pour toutes les procédures.

En conclusion, s'il est important de prendre en compte les caractéristiques de la procédure à enseigner pour choisir comment présenter les instructions, il nous semble que le point de vue égocentré soit le plus adapté pour l'apprentissage du point de suture. Ainsi, il semblerait

approprié de penser que ce même point de vue serait le plus adapté pour toute procédure assez précise, qui ne nécessite pas de déplacement et pour laquelle l'opérateur a une très bonne visibilité sur l'action et le résultat de celle-ci, ce qui est majoritairement le cas en chirurgie ouverte. Des études supplémentaires s'intéressant au point de vue de présentation des instructions permettraient de préciser les caractéristiques de la procédure pour lesquelles le point de vue égocentré serait le plus adapté.

#### **1.4. Évaluation de la validité interne de l'apprentissage par simulation en *e-learning* et *blended learning***

Toutes les études de cette thèse avaient comme but commun le développement d'un moyen pédagogique efficace pour former hors terrain, efficacement et à moindre frais, des novices aux gestes chirurgicaux, en particulier le point de suture. Après avoir cherché à réaliser un support pédagogique adapté au plus grand nombre et permettant un apprentissage autonome de la procédure, nous nous sommes intéressés à son intégration dans le cursus.

Nous avons émis l'hypothèse qu'une combinaison d'apprentissage en ligne et de simulation permettait de former efficacement des étudiants en médecine aux gestes chirurgicaux. En effet, l'apprentissage des gestes chirurgicaux sur le terrain est une pratique désormais considérée comme contraire à l'éthique médicale (Spruit, Guido, Haming & Ridderinkhof, 2014). L'entraînement réalisé directement sur le patient ne permet pas de garantir sa sécurité ni son accès à des soins de qualité (Renaut et al., 2018). C'est pourquoi de nombreuses universités se tournent désormais vers l'apprentissage par simulation pour former les futurs médecins à ces pratiques (Granry & Moll, 2012). L'efficacité de l'apprentissage par simulation a été démontrée par de nombreuses études (Barsuk, McGaghie, Cohen & Balachandran, 2009; Meyer, Connors, Hou & Gajewski, 2011; Seybert, Smithburger, Kobulinsky & Kane-Gill, 2012), mais le suivi nécessaire lors des ateliers ne permet généralement pas de former plus de quelques étudiants à la fois. L'entraînement aux gestes chirurgicaux par la simulation est par conséquent souvent réalisé de façon ponctuelle, alors que l'acquisition de compétences techniques nécessite une pratique répétée et peut requérir un apprentissage plutôt long (Anderson, 2013; Corbett & Anderson, 1995).

Au cours des quatre premières études, nous avons vérifié que notre module, combinant le *e-learning* et la simulation permettait bien aux individus d'acquérir une certaine expertise concernant la réalisation de points de suture. La confiance en soi et la compétence perçue

des participants sont plus élevées après la réalisation de la simulation qu'avant. La situation d'apprentissage par la simulation était perçue comme intéressante et bénéfique pour l'apprentissage. Par ailleurs, les mesures de charge mentale et de difficulté perçue réalisées dans l'expérience 2 font apparaître que celles-ci diminuent significativement au fil des essais. Les résultats positifs des échelles subjectives sont en accord avec les résultats des mesures comportementales, permettant de vérifier l'apprentissage.

En effet, les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage, tant sur la durée de réalisation de la procédure que sur la qualité des points. La diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste et de la durée totale de réalisation de la tâche, ainsi que l'amélioration de la qualité des points de suture sont très rapide sur les premiers essais, puis plus lente sur les derniers. Sur les derniers essais, les participants ne consultent plus les instructions de réalisation. Ainsi, à partir d'une première session d'une heure et demie, les étudiants ont « compilé » les informations déclaratives des instructions en connaissances procédurales et n'ont plus besoin de consulter les instructions pour réaliser la procédure. Il apparaît qu'en 5 essais, les participants de ces expériences ont pu acquérir une certaine expertise de réalisation de points de suture. Dans l'expérience 3, lorsque les participants revenaient réaliser des points de suture une semaine après l'apprentissage, ils ne consultaient pas une seule fois les instructions. Cela signifie que les informations concernant la procédure sont bien stockées sous la forme de connaissances procédurales en mémoire à long terme (Tenison & Anderson, 2015), même si une petite baisse de performance sur la qualité des points, est visible en début de deuxième session. Par ailleurs, les participants ont continué à progresser au long de celle-ci. Ils n'avaient donc pas totalement acquis la procédure.

Comme nous l'avions supposé, il semble que l'organisation d'une séance unique de pratique par la simulation ne soit pas suffisante pour l'apprentissage d'un geste chirurgical. En effet, l'acquisition de procédure nécessite de la répétition et de la pratique (Anderson, 2013; Boucheix, 2015; Burke & Mancuso, 2012; Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). Le *blended learning*, combinant un cours en présentiel et un cours en ligne, pourrait être une solution afin que les étudiants puissent bénéficier de plusieurs séances d'entraînement. Cela leur permettrait d'acquérir des automatismes, et par conséquent de gagner en efficacité.

Dans la dernière étude, nous avons vérifié l'efficacité d'une formation en *blended learning*. Le *blended learning* est généralement considéré comme plus efficace que le *e-learning* seul, dans la mesure où il permet davantage d'interactions entre apprenants et formateurs (Graham, 2013; Sitzmann, Kraiger, Stewart & Wisher, 2006). Les résultats de cette étude montrent, comme pour les expériences précédentes, que les performances des participants suivent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage en première session. Les résultats montrent une diminution de la durée de consultation des instructions, de la durée d'exécution du geste et de la durée totale de réalisation de la tâche, ainsi que l'amélioration de la qualité des points de suture. Ces résultats confirment l'acquisition de la procédure. Lors de la deuxième session, que celle-ci soit en *e-learning* ou en présentiel, les deux groupes continuent de progresser. Entre la première et la deuxième session, les participants exécutent le geste plus rapidement, avec moins d'erreurs et une qualité plus grande. Cette progression montre l'intérêt d'ajouter une deuxième session à l'apprentissage, les performances des apprenants n'ayant pas encore atteint un plateau. La situation de *blended learning* semble permettre un apprentissage de la procédure de réalisation de points de suture. Pour confirmer l'efficacité de cette méthode, il faudrait cependant la comparer avec d'autres méthodes d'enseignement par la simulation uniquement en présentiel ou uniquement en ligne.

Nous avons également comparé deux groupes suivant les cours en *blended learning* : un premier groupe qui commençait l'apprentissage par la situation de *e-learning* et un second groupe qui commençait par le cours en présentiel. Les étudiants du groupe qui réalisait le début du cours en *e-learning* obtenaient des scores OSATS plus élevés en moins d'essais que les participants qui commençaient par le cours en présentiel. L'apprentissage en *e-learning*, qui détaillait l'ensemble de la procédure, pourrait servir d'exemple résolu et donc faciliter son acquisition (Fraser, Ayer & Sweller, 2015). Nous avons également été confronté à des désistements plus importants dans le groupe qui commençait par le cours en présentiel. Ceci peut être dû à une plus grande motivation de suivre une formation préalable à la confrontation avec un enseignant. Dans les deux cas, les cours en présentiel étaient obligatoires tandis que le cours en *e-learning* était proposé à des volontaires.

En conclusion, la situation d'apprentissage en *e-learning* et simulation semble permettre l'acquisition de connaissances procédurales. Le fait de réaliser plusieurs séances paraît

nécessaire. En effet, les apprenants continuent de progresser lors d'une deuxième séance, montrant qu'ils n'ont pas encore atteint de plateau dans leurs performances. Par ailleurs, de nombreux auteurs ont montré que le fait de distribuer les sessions d'apprentissage dans le temps permettait d'atteindre de meilleures performances comparativement à un apprentissage massé (Fishman, Keller & Atkinson, 1968; Lee & Genovese, 1988; Mackay, Morgan, Datta, Chang & Darzi, 2002). Une expérience de Baddeley et Longman (1978), réalisée sur des postiers apprenant la frappe sur machine à écrire, a montré qu'à nombre d'heures égales d'entraînement, un apprentissage distribué était plus efficace qu'un apprentissage massé. Concentrer l'apprentissage du point de suture sur une seule session de simulation pourrait par conséquent induire de moins bons résultats que le fait de distribuer l'apprentissage. L'apprentissage massé est cependant souvent préféré car prévoir une session plus longue d'entraînement permet de faciliter l'organisation des séances. De plus, davantage de jours d'entraînement sont nécessaires pour acquérir des connaissances procédurales en s'entraînant une heure par jour qu'en s'entraînant quatre heures par jour (Baddeley, 1990). Le *blended learning* pourrait être une façon de permettre aux apprenants de profiter des avantages de l'entraînement distribué tout en facilitant l'organisation des sessions d'entraînement. Dans ce cas, il nous semble approprié de commencer par la séance en *e-learning*, avant la séance en présentiel.

## **2. Limites des études présentées dans cette thèse**

Ce travail de recherche, malgré le soin apporté aux cinq expériences qui le composent, comporte certaines limites qui laissent certaines questions en suspens ou peuvent faire l'objet de discussions. Celles-ci concernent la population étudiée, le geste étudié, les mesures réalisées et les procédures utilisées.

### **2.1. Population et geste étudiés**

Une limite principale des résultats de cette thèse concerne le nombre de participants aux études réalisées. Dans toutes les expériences, sauf l'expérience 2, le nombre de participants est inférieur à 50. Pour les expériences 1 et 5, ce nombre reste raisonnable car les participants étaient divisés en deux groupes. Cependant pour l'expérience 3, l'analyse statistique basée sur des corrélations nécessiterait un nombre de participants plus élevé pour pouvoir s'assurer de la fiabilité des tests statistiques. De la même façon pour l'expérience 4, les participants étaient séparés selon deux variables : leur aptitude à la

rotation mentale et le point de vue des instructions. Quatre groupes étaient donc créés, comprenant chacun 11 participants. Ce nombre apparaît très réduit et ne permet pas de généraliser les résultats. Les expériences de cette thèse étant réalisées sur une population limitée (des étudiants en médecine de deuxième année n'ayant jamais fait de points de suture), le recrutement de davantage de participants était difficile. Il aurait été nécessaire de recruter ceux-ci hors de la faculté de médecine de Brest. La passation des expériences se déroulant au CHRU de Brest, ceci aurait été très difficile. Il serait pertinent d'essayer de reproduire les résultats des expériences menées lors de ce travail de thèse sur une population plus importante pour les confirmer.

Il est également nécessaire de préciser que, le contexte de ces expériences étant très spécifique, les résultats pourraient ne pas être généralisables à d'autres populations ou d'autres types d'apprentissages procéduraux. En effet, cette thèse se situe dans un contexte de formation aux gestes chirurgicaux par la simulation en faculté de médecine, c'est pourquoi la population recrutée était composée uniquement d'étudiants en médecine. Bien que le recours à cette population soit cohérent avec le contexte de la thèse, il est nécessaire d'envisager la généralisation des résultats de ces études avec précaution. De la même façon, le choix du point de suture comme exemple de geste chirurgical est pertinent dans le contexte de formation étudié, mais peut limiter la généralisation de certains résultats. Comme nous l'avons mentionné plus haut, ce geste ne nécessite pas de déplacement, ni de changement de point de vue particulier. Les résultats qui concernent le point de vue de présentation des instructions ne peuvent donc pas être généralisés à tous les gestes chirurgicaux, et encore moins à tout apprentissage de geste technique. Il serait pertinent d'essayer de reproduire les résultats des études présentées ici en utilisant des gestes chirurgicaux (ou non) différents. Une perspective pourrait être le recrutement d'une population différente, qu'il s'agisse d'étudiants dans un autre domaine nécessitant un apprentissage procédural ou d'apprenants en formation professionnelle.

## **2.2. Matériel et mesures**

Certains points concernant le matériel utilisé et les mesures réalisées peuvent faire l'objet de discussions. Tout d'abord, dans la majorité des expériences menées (2, 3 et 4), le logiciel TIP-EXE était utilisé. Celui-ci permet d'obtenir très facilement des mesures concernant les durées de consultation des instructions, sans nécessiter l'utilisation de matériel complexe.

Cependant, il présente certains inconvénients. Un de ceux-ci correspond à la façon dont les durées sont comptabilisées. En effet, le logiciel permet de flouter les documents que l'individu doit consulter, celui-ci étant obligé de cliquer sur ceux-ci pour les visionner. La durée pendant laquelle le document est maintenu lisible est considérée comme une mesure de la durée de consultation. Toute durée hors de celle-ci est considérée comme faisant partie de la durée d'exécution. Si cette manière de mesurer les durées de réalisation est pratique et permet d'obtenir des mesures facilement, elle ne permet pas d'obtenir des mesures très précises. L'individu peut, alors qu'il maintient une instruction visible, décider de regarder la tâche qu'il réalise pour la comparer à l'instruction. Il ne sera alors plus en consultation des instructions, alors que le logiciel le considérera comme tel. De la même façon, lorsqu'un individu ne consulte pas les instructions il n'est pas nécessairement en train d'exécuter la tâche, mais le logiciel le considère comme tel. L'utilisation de ce logiciel nécessite également des apprenants une action qu'ils n'auraient pas réalisée en situation écologique de consultation des instructions : cliquer sur les instructions pour les visionner. Chaque image présentant une instruction était donc séparée des autres car une seule était visible à la fois. Cette séparation peut augmenter le nombre d'alternances entre consultation et exécution. Boekelder et Steehouder (1998b) ont en effet montré que la séparation des instructions pouvait inciter les individus à passer à l'action après avoir fini la lecture d'une instruction. L'utilisation de ce logiciel pourrait également réduire légèrement la durée de consultation des instructions. Une expérience de Gray et Fu (2001) a montré que les participants, qui devaient apprendre une procédure via un texte procédural, avaient de plus fortes chances de se reposer sur leur mémoire et par conséquent de moins regarder les instructions si celles-ci étaient grisées et qu'il fallait qu'ils cliquent dessus pour pouvoir les lire. Cette action à réaliser induisait un coût cognitif supplémentaire lié à la consultation. Malgré sa praticité et sa facilité d'utilisation, le logiciel TIP-EXE serait limité dans la précision des données qu'il permet d'obtenir. L'utilisation d'un *eye-tracker* sur toutes les expériences aurait pu être à privilégier. En effet, son utilisation permet une expérience plus écologique puisque les apprenants peuvent consulter le document normalement, sans que celui-ci ne soit flouté. Le comportement des apprenants est donc possiblement plus proche de leur comportement en situation réelle. Cependant, même s'il est possible de remarquer un nombre d'alternances un peu plus élevé sur les expériences utilisant le logiciel TIP-EXE que sur l'expérience utilisant l'*eye-tracker*, les durées de consultation des instructions sont

similaires avec les deux outils. Des courbes d'apprentissage très similaires sont également visibles pour toutes les expériences, que celles-ci soient réalisées avec TIP-EXE ou avec l'*eye-tracker*. L'impact de l'utilisation de TIP-EXE semble par conséquent globalement plutôt réduit même s'il peut affecter la précision des données.

L'évaluation de la charge cognitive des apprenants est également un élément qui peut représenter une limite dans ces expériences. Tout d'abord, les expériences 1 et 4 utilisent les mesures comportementales comme représentatives de la charge cognitive des apprenants. Même si ces mesures sont souvent utilisées pour mesurer indirectement la charge cognitive, il aurait pu être utile d'utiliser un outil conçu pour cela (van Hooijdonk & Krahmer, 2008). C'est ce qui a été fait dans les expériences 2 et 3. Dans l'expérience 3, nous avons utilisé le NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988, Annexe 5) administrée via le logiciel Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008). Même si elle est considérée comme très fiable, cette échelle présente le défaut d'être longue à administrer (Hill et al., 1992). Sa longueur limitait son utilisation et ne permettait pas de l'utiliser après chaque essai, sans allonger considérablement la durée de la passation et d'augmenter la charge cognitive des participants. De plus, celle-ci ne mesure pas uniquement la charge cognitive induite par la tâche, mais la charge de travail en incluant des items mesurant des éléments variés tel que l'effort physique ressenti. Dans l'expérience 2, nous avons fait le choix d'utiliser une échelle courte, proposée par Paas et van Merriënboer (1993), pour mesurer la charge cognitive. Puisque l'échelle ne présentait qu'un seul item elle pouvait être administrée après chaque essai, mais sa fiabilité est moins reconnue que le NASA-TLX. Le choix de l'outil pour mesurer la charge cognitive des participants a donc été une question complexe lors de la réalisation de ces expériences. L'utilisation de mesures comportementales permet de faciliter la procédure, mais peut être sujet à débat. Le NASA-TLX constitue une échelle longue, plus fastidieuse à administrer et prenant en compte une charge de travail plus vaste. L'utilisation d'un unique item qui permet des mesures répétées aurait pu être privilégiée sur toutes les expériences. En effet, sa facilité d'utilisation permet de recueillir très facilement des mesures et, même si le NASA-TLX peut être considéré comme plus fiable, de nombreux auteurs reconnaissent que l'utilisation d'un simple item subjectif peut être une mesure efficace de la charge cognitive (Fraser, Ayres, & Sweller, 2015; Paas, 1992; Paas & van Merriënboer, 1993; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Dans de prochaines études sur l'apprentissage de procédures,

prenant en compte les différentes répétitions, il pourrait être pertinent d'utiliser une échelle à un item pour mesurer la charge cognitive après chaque essai.

### **2.3. Procédures**

D'autres limites du travail de recherche mené dans cette thèse concernent les procédures utilisées lors des expériences. Un des éléments principaux de cette thèse concernait la validation de la situation d'apprentissage par la simulation en *e-learning* ou en *blended learning*. Dans toutes nos expériences nous avons pu montrer l'apparition d'une courbe d'apprentissage sur la réalisation du point de suture. Cependant la majorité des expériences prenait en compte une seule séance d'entraînement. Cela nous permettait de dire que les performances des participants s'amélioraient avec la pratique, mais pas de valider l'apprentissage à long terme de la procédure. Sur l'expérience 3, nous avons ajouté une séance d'évaluation, une semaine après la pratique. Cette évaluation supplémentaire permet de constater que la procédure a été apprise et que les performances obtenues en fin de première séance peuvent être retrouvées une semaine plus tard. Pour valider l'apprentissage sur les autres expériences, et pour comparer l'effet de nos variables sur l'apprentissage à long terme, il aurait été intéressant d'ajouter ce type d'évaluation à la procédure des autres expériences. De la même façon, il aurait pu être pertinent d'évaluer la rétention de la procédure à plus long terme. Concernant l'expérience 5, une deuxième session d'apprentissage était prévue dans le protocole, et des mesures de durée de réalisation et de qualité étaient réalisées lors de celle-ci. Cependant, cette session était un entraînement supplémentaire et non un contrôle de la rétention à long terme. Il aurait également été pertinent de contrôler la rétention à plus long terme lors de cette expérience. Malheureusement, l'ajout d'une session d'évaluation à long terme était difficilement envisageable pour la grande majorité des étudiants. Lors de l'expérience 3 et de l'expérience 5, plusieurs participants ne sont pas venus à la deuxième session, réduisant la quantité de données exploitables. L'ajout d'une session d'évaluation supplémentaire aurait réduit le nombre (déjà limité) de participants aux expériences, particulièrement pour l'expérience 5 pour laquelle deux sessions étaient déjà prévues. Un nombre plus élevé de participants potentiels aurait cependant pu permettre de prévoir une session d'évaluation à long terme dans le protocole des expériences.

Enfin, une des limites principales de cette thèse concerne la procédure mise en place pour l'expérience 5. En effet, cette expérience se déroulait dans un contexte plus écologique qui limitait le contrôle expérimental possible. Pour limiter l'impact sur l'apprentissage des participants, nous avons décidé de les laisser utiliser le module d'apprentissage *e-learning* de façon indépendante et de ne contrôler la performance des apprenants qu'après son utilisation, contrairement aux autres expériences dans lesquelles des évaluations étaient effectuées tout au long de l'apprentissage. Cela limite donc la quantité de données disponibles. De plus, le cours en présentiel étant déjà intégré au cursus des étudiants de la faculté de médecine de Brest, le contrôle sur ce contenu était très limité. Les intervenants avaient tous les mêmes éléments à transmettre aux étudiants durant le cours en présentiel et tous les étudiants devaient pratiquer des points de suture en simulation durant celui-ci. Cependant, le style pédagogique de chaque enseignant et la dynamique de chaque groupe d'étudiants pouvant être très différents, les cours en présentiel ne se sont pas déroulés de façon identique pour tous les étudiants. Certains ont eu plus de détails sur la réalisation du point de suture et d'autres ont pu s'entraîner plus longtemps. De la même façon, en situation de cours présentiel, les étudiants pouvaient demander de l'aide aux enseignants et poser des questions sur des difficultés spécifiques. Il est possible que certains étudiants aient profité de ces interactions alors que d'autres non. Le choix de réaliser cette expérience dans un contexte plus écologique permet de rendre compte de ces différences qui sont présentes en situation réelle. Cependant le manque de contrôle expérimental que cela induit limite la portée des résultats et leur généralisation. Pour permettre un meilleur contrôle de l'expérience 5, il aurait été nécessaire d'avoir un contrôle plus important sur le cours en présentiel, par exemple en imposant un nombre fixe de points de suture à réaliser par les étudiants ou en vérifiant la durée passée avec chaque étudiant par l'enseignant, ainsi que réaliser tous les cours en présentiel avec le même enseignant. Il aurait également été possible de laisser moins de liberté aux apprenants lors de l'apprentissage *e-learning*.

### **3. Perspectives**

Les études présentées dans cette thèse apportent des réponses aux questions ayant été posées aussi bien sur l'atomisation de l'action que sur l'effet du point de vue de présentation des instructions et sur l'efficacité de la situation d'apprentissage, mais il est nécessaire de les compléter.

Nous avons pu montrer que l'atomisation de l'action était réalisée par les apprenants lors de la phase déclarative de l'apprentissage, avec des instructions sous forme de photos et sous forme de vidéos accompagnées de texte. Il serait cependant pertinent de vérifier la façon dont les apprenants alternent entre consultation et exécution lorsque les instructions sont présentées sous forme audio ou d'images (animées ou non) accompagnées d'instructions audio. En effet, le format audio permet aux apprenants de percevoir les instructions tout en regardant l'exécution de leur action. On peut alors se demander si les apprenants réaliseraient une atomisation de l'action similaire à celle réalisée avec des instructions visuelles. En postulant que l'atomisation de l'action est réalisée à cause de la trop forte charge cognitive en début d'apprentissage procédural, nous pouvons émettre l'hypothèse que la charge cognitive imposée par les processus d'interprétation pour traduire les instructions déclaratives en actions devrait contraindre les apprenants à réaliser une certaine atomisation de l'action. Il serait intéressant de vérifier cette hypothèse et d'analyser comment cette atomisation de l'action serait réalisée, les apprenants ne pouvant pas déplacer leur regard entre les instructions et l'action. Il serait également pertinent de vérifier que l'atomisation de l'action est bien réalisée quel que soit le type de matériel pédagogique utilisé ou la procédure apprise. L'étude de l'atomisation de l'action pourrait concerner d'autres formes de documents comme les vidéos segmentées ou les images animées (GIF), mais également des habiletés provenant de domaines différents, ou nécessitant des déplacements qui pourraient segmenter fortement la procédure. De la même façon, l'effet du choix d'un paradigme d'exécution immédiate ou d'exécution différée dans la méthode expérimentale a été étudié dans un contexte spécifique et avec des documents combinant image et texte. Pour pouvoir généraliser plus largement ces résultats, il serait nécessaire de réaliser d'autres études comparant les effets de ces paradigmes avec d'autres formats d'instructions ou d'autres compétences à acquérir.

Un autre volet de recherche à explorer plus en profondeur concerne l'efficacité de l'apprentissage procédural en *e-learning* et *blended learning*. Nous avons pu montrer dans les travaux de recherche de cette thèse que les apprenants qui utilisent un module de *e-learning* ou placés dans une situation de *blended learning* peuvent apprendre une procédure. Les courbes d'apprentissage observées font apparaître que les apprenants sont passés de la phase déclarative à la phase de compilation des connaissances, puisque la

consultation des instructions est anecdotique lors du 5<sup>ème</sup> essai. L'évaluation réalisée une semaine plus tard lors de l'expérience 3 permet de confirmer que les connaissances procédurales acquises peuvent se maintenir dans le temps. Pour valider l'efficacité de ces situations d'apprentissage il serait pertinent de les comparer avec d'autres méthodes. La comparaison entre un apprentissage en *blended learning* et un apprentissage équivalent en nombre d'heures mais réalisé uniquement en présentiel ou uniquement en ligne permettrait de vérifier l'efficacité de cette méthode pédagogique. De la même façon, une comparaison entre différentes organisations de *blended learning*, présentant une quantité de cours en ligne plus ou moins importante par rapport au cours en présentiel, pourrait permettre de comprendre comment équilibrer les deux méthodes. Nous avons également vu que le fait de distribuer les sessions d'apprentissage dans le temps permet d'atteindre de meilleures performances comparativement à un apprentissage massé (Baddeley & Longman, 1978; Fishman, Keller & Atkinson, 1968; Lee & Genovese, 1988; Mackay, Morgan, Datta Chang & Darzi, 2002). Pour Baddeley (1990), il est préférable de limiter la quantité d'entraînement quotidienne et de répartir l'entraînement sur plusieurs jours. Étudier l'efficacité d'un apprentissage des gestes chirurgicaux distribué de façon plus importante dans le temps pourrait permettre de prévoir une organisation pédagogique plus efficace et bénéfique pour l'apprentissage. Le but premier étant que les apprenants aient une maîtrise suffisante des gestes chirurgicaux avant de les pratiquer sur des patients.

Il nous paraît également nécessaire d'étudier la transposition des compétences acquises en simulation sur des situations réelles avec des patients. De nouvelles études devraient suivre les étudiants en stage, et étudier leurs performances afin de mesurer la rétention, en fonction des supports proposés, et des organisations pédagogiques utilisées.

Enfin à l'issue de ce travail, qui s'intéresse à des méthodes d'enseignement en émergence comme la simulation, le *e-learning* et le *blended learning*, d'autres méthodes pédagogiques pourraient être étudiées. Les nouvelles technologies comme la réalité virtuelle et la réalité augmentée peuvent permettre d'incorporer les instructions directement dans le champ de vision lors de l'exécution d'une procédure. De nombreuses études ont montré l'effet positif des instructions intégrées en situation de résolution de problèmes (Ayres & Sweller, 2014), en géométrie (Bobis, Sweller & Cooper, 1993) ou en tâche de compréhension de texte (Yeung, Jin & Sweller, 1997). Le fait d'intégrer les informations nécessitant d'être traitées

simultanément dans un même document permet généralement de réduire la charge cognitive et d'éviter un effet néfaste de l'attention partagée (Sweller, 2016). L'apprentissage procédural en réalité virtuelle pourrait permettre d'intégrer directement les instructions de réalisation dans la simulation de procédure, précisément à l'endroit où les apprenants ont besoin de regarder pour réaliser la tâche. De la même façon, l'utilisation de réalité augmentée pour l'apprentissage pourrait permettre d'intégrer les instructions, sous forme graphique ou textuelle, dans le champ de vision de l'individu au moment où il en a besoin. L'utilisation de ces nouvelles technologies pour créer des situations d'apprentissage qui intègrent les instructions pourrait faciliter l'apprentissage en évitant le partage de l'attention et en limitant la charge cognitive (Sweller, 2016; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Enfin, étudier comment les apprenants utilisent les instructions dans ces situations intégrées pourrait permettre de mieux comprendre la façon dont les apprenants choisissent d'alterner entre consultation des instructions et réalisation des actions.

#### **4. Conclusion**

Au niveau des implications théoriques, ce travail de thèse permet tout d'abord d'attester des différentes phases de l'apprentissage de procédure. L'étude du nombre d'alternances entre consultation des instructions et exécution des actions semble être une mesure pertinente pour distinguer ces phases. Nous avons pu mettre en évidence le fait que l'atomisation de l'action se déroulait au début de l'apprentissage de procédure, donc en phase déclarative. L'hypothèse que cette atomisation de l'action est réalisée pour limiter la charge cognitive en mémoire de travail, déjà importante du fait des processus d'interprétation, semble l'explication la plus logique à ce phénomène.

Concernant les recommandations pédagogiques dans la construction de situations d'apprentissage procédural, il semble que l'utilisation d'une combinaison de simulation et d'apprentissage en ligne soit une méthode intéressante pour la formation aux gestes chirurgicaux. L'utilisation de *blended learning* semble également une piste intéressante pour profiter des avantages de l'apprentissage en ligne sans se détacher entièrement du présentiel. Plus concrètement, l'utilisation d'une perspective égocentrée pour présenter les instructions paraît adaptée pour l'apprentissage de gestes qui ne nécessitent pas de déplacement et pour lesquels l'action est visible par l'acteur. Dans la conception de situations d'apprentissage de procédures, il est également nécessaire de permettre aux

apprenants de réaliser une atomisation de l'action car un paradigme d'exécution différée pourrait gêner l'apprentissage.

Enfin, nous avons pu proposer des recommandations méthodologiques pour la réalisation d'expériences sur l'apprentissage procédural. Nous avons montré qu'il était nécessaire de prendre en compte l'atomisation de l'action que les apprenants réalisent en situation écologique. L'utilisation d'un paradigme séparant en deux phases distinctes la consultation des instructions et l'exécution des actions est susceptible d'avoir une influence sur les données recueillies et par conséquent d'affecter la validité de celles-ci. Par ailleurs, il est également nécessaire lorsqu'on s'intéresse à l'apprentissage procédural plutôt qu'à la réalisation unique d'une tâche, de prendre en compte plusieurs répétitions de la tâche. En effet, nous avons montré que les effets des variables étudiées pouvaient varier entre le début de l'apprentissage et les essais suivants. Ne prendre en compte qu'un seul essai ne permet pas de rendre compte du processus progressif qu'est l'apprentissage de procédures.

En résumé, les résultats de cette thèse ont des implications autant au niveau théorique, qu'au niveau pédagogique et au niveau méthodologique. Les études qui poursuivront ce travail pourront donc s'inscrire dans les trois facettes abordées ici.

## REFERENCES

- Aggarwal, R., Crochet, P., Dias, A., Misra, A., Ziprin, P., & Darzi, A. (2009). Development of a virtual reality training curriculum for laparoscopic cholecystectomy. *British Journal of Surgery*, 96(9), 1086-1093. [doi:10.1002/bjs.6679](https://doi.org/10.1002/bjs.6679)
- Albaret, J.-M., & Aubert, E. (1996). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 269-278.
- Allen, I. E., & Seaman, J. (2007). *Online nation: Five years of growth in online learning*. Newburyport, MA, USA : Sloan Consortium.
- Allen, R. J., & Waterman, A. H. (2015). How does enactment affect the ability to follow instructions in working memory?. *Memory & Cognition*, 43(3), 555-561. [doi.org/10.3758/s13421-014-0481-3](https://doi.org/10.3758/s13421-014-0481-3)
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*, 89(4), 369. [doi.org/10.1037/0033-295X.89.4.369](https://doi.org/10.1037/0033-295X.89.4.369)
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 22(3), 261-295. [doi.org/10.1016/S0022-5371\(83\)90201-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(83)90201-3)
- Anderson, J.R., (2013). *The architecture of cognition* (2nd ed.). New York, NY, USA : Psychology Press.
- Anderson, J. R. (2014). *Rules of the mind*. New York, NY: Psychology Press.
- Angel, S., & Angel, S. (2016). *Eviter les erreurs médicales grâce à la simulation*. Paris, France : Odile Jacob.
- Arguel, A., & Jamet, E. (2009). Using video and static pictures to improve learning of procedural contents. *Computers in human behavior*, 25(2), 354-359. [doi:10.1016/j.chb.2008.12.014](https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.014)
- Arroyo-Morales, M., Cantarero-Villanueva, I., Fernández-Lao, C., Guirao-Piñeyro, M., Castro-Martín, E., & Díaz-Rodríguez, L. (2012). A blended learning approach to palpation and ultrasound imaging skills through supplementation of traditional classroom teaching with an e-learning package. *Manual therapy*, 17(5), 474-478. [doi.org/10.1016/j.math.2012.04.002](https://doi.org/10.1016/j.math.2012.04.002)
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In G. H. Bower (ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 2, p. 89-195). New-York, NY, USA : Academic Press. [doi:10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control processes of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82-91.
- Ayres, P., Marcus, N., Chan, C., & Qian, N. (2009). Learning hand manipulative tasks: When instructional animations are superior to equivalent static representations. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 348-353. [doi:10.1016/j.chb.2008.12.013](https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.013)
- Ayres, P., & Paas, F. (2007). Can the cognitive load approach make instructional animations more effective?. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 21(6), 811-820. [doi.org/10.1002/acp.1351](https://doi.org/10.1002/acp.1351)
- Ayres, P., & Sweller, J. (2014). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. (2cond ed., p. 135-146). Cambridge University Press. [doi:10.1017/CBO9781139547369.011](https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.011)
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. New York, NY, USA : Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2010). Working memory. *Current biology*, 20(4), R136-R140. [doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014](https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014)
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29. [doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422](https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 8, p. 47-89). New-York, NY, USA : Academic press. [doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. D., & Longman, D. J. A. (1978). The influence of length and frequency of training session on the rate of learning to type. *Ergonomics*, 21(8), 627-635. [doi.org/10.1080/00140137808931764](https://doi.org/10.1080/00140137808931764)
- Barsuk, J. H., Cohen, E. R., Feinglass, J., McGaghie, W. C., & Wayne, D. B. (2009). Use of simulation-based education to reduce catheter-related bloodstream infections. *Archives of Internal Medicine*, 169(15), 1420-1423. [doi:10.1001/archinternmed.2009.215](https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.215)
- Barsuk, J. H., McGaghie, W. C., Cohen, E. R., Balachandran, J. S., & Wayne, D. B. (2009). Use of simulation-based mastery learning to improve the quality of central venous catheter placement in a medical intensive care unit. *Journal of Hospital Medicine*, 4(7), 397-403. [doi-org/10.1002/jhm.468](https://doi-org/10.1002/jhm.468)

- Beaunieux, H., Hubert, V., Witkowski, T., Pitel, A. L., Rossi, S., Danion, J. M., ... & Eustache, F. (2006). Which processes are involved in cognitive procedural learning?. *Memory*, 14(5), 521-539. [doi.org/10.1080/09658210500477766](https://doi.org/10.1080/09658210500477766)
- Béguin, P., & Weill-Fassina, A. (1997). *La simulation en ergonomie: Connaître, agir et interagir*. Toulouse, France : Octarès Editions.
- Benhamou, D. (2019). Préface. In D. Oriot, & G. Alinier, (eds.), *La simulation en santé. Le débriefing clés en main*. Issy-Les-Moulineaux, France : Elsevier Masson.
- Bernard, R. M., Abrami, P. C., Borokhovski, E., Wade, C. A., Tamim, R. M., Surkes, M. A., & Bethel, E. C. (2009). A meta-analysis of three types of interaction treatments in distance education. *Review of Educational research*, 79(3), 1243-1289. [doi:10.3102/0034654309333844](https://doi.org/10.3102/0034654309333844)
- Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (p.287-296). Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Bétrancourt, M., & Bisseret, A. (1998). Integrating textual and pictorial information via pop-up windows: An experimental study. *Behaviour & information technology*, 17(5), 263-273. [doi.org/10.1080/014492998119337](https://doi.org/10.1080/014492998119337)
- Bétrancourt, M., Dillenbourg, P., & Montarnal, C. (2003). Computer technologies in powerful learning environments: the case of using animated and interactive graphics for teaching financial concepts. In E. E. de Corte, L. E. Verschaffel, N. E. Entwistle, & J. E. Van Merriënboer (eds.), *Powerful learning environments: Unravelling basic components and dimensions* (p. 143-157). Bingley, UK : Pergamon/Elsevier Science Ltd.
- Biard, N., Cojean, S., & Jamet, E. (2018). Effects of segmentation and pacing on procedural learning by video. *Computers in Human Behavior*, 89, 411-417. [doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.002](https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.002)
- Blanc, N., & Brouillet, D. (2003). *Mémoire et compréhension: Lire pour comprendre*. Paris, France : Éditions InPress.
- Blayney, P., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2010). Interactions between the isolated–interactive elements effect and levels of learner expertise: Experimental evidence from an accountancy class. *Instructional Science*, 38(3), 277-287. [doi/10.1007/s11251-009-9105-x](https://doi.org/10.1007/s11251-009-9105-x)

- Bloomfield, J. G., Cornish, J. C., Parry, A. M., Pegram, A., & Moore, J. S. (2013). Clinical skills education for graduate-entry nursing students: Enhancing learning using a multimodal approach. *Nurse education today*, 33(3), 247-252. [doi.org/10.1016/j.nedt.2011.11.009](https://doi.org/10.1016/j.nedt.2011.11.009)
- Bloomfield, J. G., & Jones, A. (2013). Using e-learning to support clinical skills acquisition: Exploring the experiences and perceptions of graduate first-year pre-registration nursing students—A mixed method study. *Nurse education today*, 33(12), 1605-1611. [doi.org/10.1016/j.nedt.2013.01.024](https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.01.024)
- Bloomfield, J. G., While, A. E., & Roberts, J. D. (2008). Using computer assisted learning for clinical skills education in nursing: integrative review. *Journal of advanced nursing*, 63(3), 222-235. [doi:10.1111/j.1365-2648.2008.04653](https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2008.04653)
- Bobis, J., Sweller, J., & Cooper, M. (1993). Cognitive load effects in a primary-school geometry task. *Learning and Instruction*, 3(1), 1-21. [doi.org/10.1016/S0959-4752\(09\)80002-9](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(09)80002-9)
- Boekelder, A., & Steehouder, M. (1998a). Selecting and switching: Some advantages of diagrams over tables and lists for presenting instructions. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 41(4), 229-241. [doi:10.1109/47.735365](https://doi.org/10.1109/47.735365)
- Boekelder, A., & Steehouder, M. (1998b). Switching from instructions to equipment: the effect of graphic design. In H. Zwaga, T. Boersema, & H. Hoonhout (eds.), *Visual information for everyday use* (p. 67-73). London, UK : CRC Press.
- Bonnetain, E., Boucheix, J. M., Hamet, M., & Freysz, M. (2010). Benefits of computer screen-based simulation in learning cardiac arrest procedures. *Medical education*, 44(7), 716-722. [doi:10.1111/j.1365-2923.2010.03708](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03708)
- Boucheix, J. M. (2015, February). Apprendre le réel sans les risques du réel. L'apprentissage sur simulateur comme prévention. In K. Chahraoui, A. Laurent, A. Bioy, J.P. Quenot, & G. Capellier (eds.), *Vulnérabilité psychique et clinique de l'extrême en réanimation* (p. 251-261). Paris, France : Dunod.
- Boucheix, J. M., Gauthier, P., Fontaine, J. B., & Jaffeux, S. (2018). Mixed camera viewpoints improve learning medical hand procedure from video in nurse training?. *Computers in Human Behavior*, 89, 418–429. [doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.017](https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.017)
- Boucheix, J. M., & Guignard, H. (2005). What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students? Format, signaling and control

- of the presentation. *European Journal of Psychology of Education*, 20(4), 369-388.  
[doi:10.1007/BF03173563](https://doi.org/10.1007/BF03173563)
- Boucheix, J. M., & Schneider, E. (2008). Compréhension d'animations et mouvements oculaires: rôle du contrôle et de l'orientation de l'attention. *L'Année psychologique*, 108(3), 423-464. [doi:10.4074/S0003503308003023](https://doi.org/10.4074/S0003503308003023)
- Boucheix, J. M., & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and instruction*, 19(2), 112-127.  
[doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.03.004](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.03.004)
- Bovair, S., & Kieras, D. E. (1991). Toward a model of acquiring procedures from text. R. Barr, M. L. Kamil, P. B. Mosenthal, P. D. Pearson (eds.), *Handbook of reading research*, 2, (p. 206-229). New-York, NY, USA : Lawrence Erlbaum Associates.
- Bréaud, J., Chevallier, D., de Vries, P., Lacreuse, I., Delotte, J., Benizri, E., ... Benchimol, D. (2013, Septembre). *Adaptation en langue française du score OSATS pour un geste technique. Méthodologie d'évaluation du score et résultats préliminaires*. Communication présentée au 70ème Congrès de la Société Française de Chirurgie Pédiatrique (SFCP), St. Malo, France.
- Burke, H., & Mancuso, L. (2012). Social cognitive theory, metacognition, and simulation learning in nursing education. *Journal of Nursing Education*, 51(10), 543-548.  
[doi.org/10.3928/01484834-20120820-02](https://doi.org/10.3928/01484834-20120820-02)
- Button, D., Harrington, A., & Belan, I. (2014). E-learning & information communication technology (ICT) in nursing education: A review of the literature. *Nurse education today*, 34(10), 1311-1323. [doi.org/10.1016/j.nedt.2013.05.002](https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.05.002)
- Caens-Martin, S. (2005). Concevoir un simulateur pour apprendre à gérer un système vivant à des fins de production : la taille de la vigne. In Pastré, P. (ed.), *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* (p. 81-106). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Cantarero-Villanueva, I., Fernández-Lao, C., Galiano-Castillo, N., Castro-Martín, E., Díaz-Rodríguez, L., & Arroyo-Morales, M. (2012). Evaluation of e-learning as an adjunctive method for the acquisition of skills in bony landmark palpation and muscular ultrasound examination in the lumbopelvic region: a controlled study. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 35(9), 727-734.  
[doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.10.007](https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2012.10.007)

- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., & Paas, F. (2016). Comparing apples and oranges? A critical look at research on learning from statics versus animations. *Computers & Education*, *102*, 234-243. [doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.004)
- Cegarra, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods*, *40*(4), 988-1000. [doi:10.3758/BRM.40.4.988](https://doi.org/10.3758/BRM.40.4.988)
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive: Théorie et applications*. Paris, France : Armand Colin.
- Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory. In G. H. Bower (ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 16, p. 1-58). New-York, NY, USA : Academic Press. [doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60546-0](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60546-0)
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, *4*(1), 55-81. [doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2)
- Clark, H. H., & Clark, E. V. (1968). Semantic distinctions and memory for complex sentences. *Quarterly journal of experimental psychology*, *20*(2), 129-138. [doi/10.1080/14640746808400141](https://doi.org/10.1080/14640746808400141)
- Cohen, R. L. (1989). Memory for action events: The power of enactment. *Educational psychology review*, *1*(1), 57-80. [doi-org/10.1007/BF01326550](https://doi-org/10.1007/BF01326550)
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, *210*(4466), 207-210. [doi:10.1126/science.7414331](https://doi.org/10.1126/science.7414331)
- Cook, D. A., Brydges, R., Hamstra, S. J., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., ... & Hatala, R. (2012). Comparative effectiveness of technology-enhanced simulation versus other instructional methods: a systematic review and meta-analysis. *Simulation in Healthcare*, *7*(5), 308-320. [doi:10.1097/SIH.0b013e3182614f95](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3182614f95)
- Corbett, A. T., & Anderson, J. R. (1994). Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User modeling and user-adapted interaction*, *4*(4), 253-278. [doi-org/10.1007/BF01099821](https://doi-org/10.1007/BF01099821)

- Degerfält, J., Sjöstedt, S., Fransson, P., Kjellén, E., & Werner, M. U. (2017). E-learning programs in oncology: a nationwide experience from 2005 to 2014. *BMC research notes*, 10(1), 39-43. [doi.org/10.1186/s13104-017-2372-8](https://doi.org/10.1186/s13104-017-2372-8)
- De Groot, A. D. (1946). *Het denken van den schaker: een experimenteel-psychologische studie*. Amsterdam, The Netherlands : Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij.
- De Groot, A. D. (2008). *Thought and choice in chess*. Amsterdam, The Netherlands : Amsterdam Academic Archive.
- De Keyser, V., & Samurçay, R. (1998). Introduction: Activity theory, situated action and simulators. *Le Travail Humain*, 305-312.
- Didierjean, A., Ferrari, V., & Cauzinille-Marmèche, E. (2004). L'expertise cognitive au jeu d'échecs: quoi de neuf depuis De Groot (1946)?. *L'année psychologique*, 104(4), 771-793. [doi.org/10.3406/psy.2004.29689](https://doi.org/10.3406/psy.2004.29689)
- Diehl, V. A., & Mills, C. B. (1995). The effects of interaction with the device described by procedural text on recall, true/false, and task performance. *Memory & Cognition*, 23(6), 675-688. [doi.org/10.3758/BF03200921](https://doi.org/10.3758/BF03200921)
- Dixon, P. (1982). Plans and written directions for complex tasks. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21(1), 70-84. [doi.org/10.1016/S0022-5371\(82\)90456-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(82)90456-X)
- Dixon, P. (1987). Actions and procedural directions. In R. S. Tomlin (ed.), *Coherence and grounding in discourse: outcome of a symposium, Eugene, Oregon, June 1984* (Vol. 11, p. 69-89). Philadelphia, PA, USA : John Benjamins Publishing.
- Dubey, G. (1997). Faire « comme si » n'est pas faire. In P. Béguin, & A. Weill-Fassina (eds.), *La simulation en ergonomie: Connaître, agir et interagir* (p. 39-53). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Duggan, G. B., & Payne, S. J. (2001). Interleaving reading and acting while following procedural instructions. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(4), 297-307. [doi.org/10.1037/1076-898X.7.4.297](https://doi.org/10.1037/1076-898X.7.4.297)
- Dupuis, M. (2018). La simulation comme triple test pédagogique : fiabilité, confiance, loyauté. In M. Dupuis, R. Gueibe, & W. Hesbeen, (eds.), *Simulation et formation aux métiers de la santé*. Paris, France : Seli Arslan. (p. 13-25).
- Dupuis, M., Gueibe, R. & Hesbeen, W. (2018). *Simulation et formation aux métiers de la santé*. Paris, France : Seli Arslan.

- Ericsson, K. A. (2017). Expertise and individual differences: the search for the structure and acquisition of experts' superior performance. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 8(1-2), 1-6. [doi/10.1002/wcs.1382](https://doi.org/10.1002/wcs.1382)
- Fauquet-Alekhine, P., & Maridonneau, C. (2011). Le pilotage des réacteurs nucléaires. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet (eds.), *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (p. 37-63). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Fishman, E. J., Keller, L., & Atkinson, R. C. (1968). Massed versus distributed practice in computerized spelling drills. *Journal of educational psychology*, 59(4), 290-296.
- Fitts, P. M. (1964). Perceptual-motor skill learning. In A. W. Melton (ed.), *Categories of human learning* (p. 243-285). New-York, NY, USA : Academic Press. [doi.org/10.1016/B978-1-4832-3145-7.50016-9](https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3145-7.50016-9)
- Fiorella, L., van Gog, T., Hoogerheide, V., & Mayer, R. E. (2017). It's all a matter of perspective: Viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 653-666. [doi:10.1037/edu0000161](https://doi.org/10.1037/edu0000161)
- Fraser, K. L., Ayres, P., & Sweller, J. (2015). Cognitive load theory for the design of medical simulations. *Simulation in Healthcare*, 10(5), 295-307. [doi:10.1097/SIH.0000000000000097](https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000097)
- Fraser, K., Ma, I., Teteris, E., Baxter, H., Wright, B., & McLaughlin, K. (2012). Emotion, cognitive load and learning outcomes during simulation training. *Medical Education*, 46(11), 1055-1062. [doi/10.1111/j.1365-2923.2012.04355.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04355.x)
- Gallagher, A. G., & O'Sullivan, G. C. (2011). *Fundamentals of surgical simulation: principles and practice*. London, UK : Springer.
- Ganier, F. (2000). Processing text and pictures in procedural instructions. *Information Design Journal*, 10(2), 146-153. [doi:10.1075/idj.10.2.12gan](https://doi.org/10.1075/idj.10.2.12gan)
- Ganier, F. (2002, janvier). *De l'analyse des fonctionnements cognitifs à l'ergonomie des aides opératoires*. Communication présentée au séminaire Phiteco-Costech, Technologies cognitives: technologies numériques, systèmes d'aides et normes, Université de Technologie de Compiègne, 24.
- Ganier, F. (2004). Factors affecting the processing of procedural instructions: implications for document design. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 47(1), 15-26. [doi:10.1109/TPC.2004.824289](https://doi.org/10.1109/TPC.2004.824289)

- Ganier, F. (2013). *Comprendre la documentation technique*. Paris, France: Presses Universitaires de France.
- Ganier, F., & de Vries, P. (2016). Are instructions in video format always better than photographs when learning manual techniques? The case of learning how to do sutures. *Learning and Instruction*, 44, 87-96. [doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.03.004)
- Ganier, F., Gombert, J. E., & Fayol, M. (2000). Effets du format de présentation des instructions sur l'apprentissage de procédures à l'aide de documents techniques. *Le travail humain*, 121-152.
- Ganier, F., & Heurley, L. (2005). La prise en compte de l'utilisateur et de son utilisation des documents procéduraux : une précondition nécessaire à la conception de documents adaptés. In D. Alamargot, P. Terrier et J-M. Cellier (eds.), *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail* (pp. 69-85). Toulouse, France : Octarès.
- Ganier, F., Hoareau, C., & Tisseau, J. (2014). Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation: a case study on tank maintenance training. *Ergonomics*, 57(6), 828-843. [doi.org/10.1080/00140139.2014.899628](https://doi.org/10.1080/00140139.2014.899628)
- Ganier, F., Hoareau, C., & Devillers, F. (2013). Évaluation des performances et de la charge de travail induits par l'apprentissage de procédures de maintenance en environnement virtuel. *Le Travail Humain*, 76(4), 335-363. [doi.org/10.3917/th.764.0335](https://doi.org/10.3917/th.764.0335)
- Ganier, F., & Querrec, R. (2012). TIP-EXE: A software tool for studying the use and understanding of procedural documents. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 55(2), 106-121. [doi:10.1109/TPC.2012.2194600](https://doi.org/10.1109/TPC.2012.2194600)
- Garland, T. B., & Sanchez, C. A. (2013). Rotational perspective and learning procedural tasks from dynamic media. *Computers & Education*, 69, 31-37. [doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.014](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.014)
- Garmer, K., Liljegren, E., Osvalder, A. L., & Dahlman, S. (2002). Application of usability testing to the development of medical equipment. Usability testing of a frequently used infusion pump and a new user interface for an infusion pump developed with a human factors approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(3), 145-159. [doi:10.1016/S0169-8141\(01\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00060-9)

- Garrison, D. R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The internet and higher education*, 7(2), 95-105. [doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001](https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001)
- Gatecel, A., & Lefranc, A. V. (2018). A la rencontre des corps dans le soin – l'importance de la pratique psychocorporelle des soignants en formation initiale et tout au long de la vie. In M. Dupuis, R. Gueibe, & W. Hesbeen (eds.), *Simulation et formation aux métiers de la santé* (p. 147-156). Paris, France : Seli Arslan.
- Geary, D. C. (1995). Reflections of evolution and culture in children's cognition: Implications for mathematical development and instruction. *American psychologist*, 50(1), 24-37. [doi:10.1037//0003-066X.50.1.24](https://doi.org/10.1037//0003-066X.50.1.24)
- Geary, D. C. (2002). Principles of evolutionary educational psychology. *Learning and individual differences*, 12(4), 317-345. [doi.org/10.1016/S1041-6080\(02\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(02)00046-8)
- Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist*, 43(4), 179-195. [doi.org/10.1080/00461520802392133](https://doi.org/10.1080/00461520802392133)
- Geary, D. C. (2011). Application of evolutionary psychology to academic learning. In S. C. Roberts (ed.), *Applied Evolutionary Psychology* (p. 78-88). Oxford , UK : Oxford University Press.
- Geeraerts, T., & Trabold, F. (2011). Le simulateur de situations critiques en Anesthésie. P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet (eds.), *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (p. 65-72). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Recall of random and distorted chess positions: Implications for the theory of expertise. *Memory & cognition*, 24(4), 493-503. [doi.org/10.3758/BF03200937](https://doi.org/10.3758/BF03200937)
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1998). Expert chess memory: Revisiting the chunking hypothesis. *Memory*, 6(3), 225-255. [doi.org/10.1080/741942359](https://doi.org/10.1080/741942359)
- Gormley, G. J., Collins, K., Boohan, M., Bickle, I. C., & Stevenson, M. (2009). Is there a place for e-learning in clinical skills? A survey of undergraduate medical students' experiences and attitudes. *Medical teacher*, 31(1), e6-e12. [doi.org/10.1080/01421590802334317](https://doi.org/10.1080/01421590802334317)
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 11(3), 501-518. [doi:10.1037/0278-7393.11.3.501](https://doi.org/10.1037/0278-7393.11.3.501)

- Graham, C. R. (2013). Emerging practice and research in blended learning. In M. G. Moore (ed.), *Handbook of distance education, 3*, (p. 333-350). New-York, NY, USA : Routledge.
- Granry, J. C., & Moll, M. C. (2012). Rapport de la Haute Autorité de Santé. *État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. Dans le cadre du développement professionnel continu (DPC) et de la prévention des risques associés aux soins.*
- Grau, J. Y., Doireau, P., & Poisson, R. (1998). Conception et utilisation de la simulation pour la formation: pratiques actuelles dans le domaine militaire. *Le travail humain, 61*(4), 361- 385.
- Gray, W. D., & Fu, W. T. (2001). Ignoring perfect knowledge in-the-world for imperfect knowledge in-the-head. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 112-119. New-York, NY, USA : ACM.
- Grumbach, A., & Klinger, É. (2007). Virtuel et cognition—Introduction au dossier. *Intellectica, 45*(1), 7-22. [doi.org/10.3406/intel.2007.1264](https://doi.org/10.3406/intel.2007.1264)
- Guibert, S. (2005). Accompagner la transmission de savoir-faire au sein d'un métier pour innover et maintenir une performance industrielle. In P. Pastré, (ed.), *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* (p. 107-130). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Gyselinck, V., Jamet, E., & Dubois, V. (2008). The role of working memory components in multimedia comprehension. *Applied Cognitive Psychology, 22*(3), 353-374. [doi.org/10.1002/acp.1411](https://doi.org/10.1002/acp.1411)
- Halverson, L. R., Graham, C. R., Spring, K. J., & Drysdale, J. S. (2012). An analysis of high impact scholarship and publication trends in blended learning. *Distance Education, 33*(3), 381-413. [doi:10.1080/01587919.2012.723166](https://doi.org/10.1080/01587919.2012.723166)
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology, 52*, 139-183. [doi:10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hegarty, M., Keehner, M., Cohen, C., Montello, D. R., & Lippa, Y. (2007). The role of spatial cognition in medicine: Applications for selecting and training professionals. *Applied spatial cognition, 285-315.*

- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175-191. [doi:10.1016/j.intell.2003.12.001](https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.001)
- Heurley, L. (1997). Vers une définition du concept de texte procédural: le point de vue de la psycholinguistique. *Les Cahiers du français contemporain*, 4, 109-133.
- Heurley, L. (2001a). Cinq approches différentes du texte procédural. *Pratiques*, 111(1), 39-64. [doi.org/10.3406/prati.2001.2422](https://doi.org/10.3406/prati.2001.2422)
- Heurley, L. (2001). Compréhension et utilisation de textes procéduraux: l'effet de l'ordre de mention des informations. *Revue française de linguistique appliquée*, 6(2), 29-46.
- Heurley, L., & Ganier, F. (2006). L'utilisation des textes procéduraux: Lecture, compréhension et exécution d'instructions écrites. *Intellectica*, 44(2), 45-62. [doi.org/10.3406/intel.2006.1291](https://doi.org/10.3406/intel.2006.1291)
- Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner Jr, A. C., Zaklade, A. L., & Christ, R. E. (1992). Comparison of four subjective workload rating scales. *Human factors*, 34(4), 429-439. [doi:10.1177/001872089203400405](https://doi.org/10.1177/001872089203400405)
- Hoareau, C., Querrec, R., Buche, C., & Ganier, F. (2017). Evaluation of internal and external validity of a virtual environment for learning a long procedure. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33(10), 786-798. [doi:10.1080/10447318.2017.1286768](https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1286768)
- Huwendiek, S., De Leng, B. A., Zary, N., Fischer, M. R., Ruiz, J. G., & Ellaway, R. (2009). Towards a typology of virtual patients. *Medical Teacher*, 31(8), 743-748. [doi.org/10.1080/01421590903124708](https://doi.org/10.1080/01421590903124708)
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Gordon, D. L., Symes, S., Petrusa, E. R., Hart, I. R., & Harden, R. M. (2002). Effectiveness of a cardiology review course for internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *Teaching and Learning in Medicine*, 14(4), 223-228. [doi.org/10.1207/S15328015TLM1404\\_4](https://doi.org/10.1207/S15328015TLM1404_4)
- Issenberg, S.B., McGaghie, W. C., Petrusa, E. R., Lee Gordon, D., & Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical Teacher*, 27(1), 10-28. [doi.org/10.1080/01421590500046924](https://doi.org/10.1080/01421590500046924)
- Jamet, É. (2006). Peut-on concevoir des documents électroniques plus efficaces? L'exemple des diaporamas. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 58(3), 185-198. [doi.org/10.1016/j.erap.2006.10.003](https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.10.003)

- Jamet, É., Le Bohec, O., & Hidrio, C. (2003). Comment présenter l'information dans les documents numériques éducatifs?. *Document numérique*, 7(1), 25-38. [doi.org/10.3166/dn.7.1-2.25-38](https://doi.org/10.3166/dn.7.1-2.25-38)
- Jannin, L. (2020a). Dataset experience 1 PHD Thesis - Données expérience 1 Thèse [Data set]. Zenodo. [doi.org/10.5281/zenodo.3601295](https://doi.org/10.5281/zenodo.3601295)
- Jannin, L. (2020b). Dataset experience 2 PHD Thesis - Données expérience 2 Thèse [Data set]. *Journal of Educational Psychology*. [doi.org/10.5281/zenodo.3601312](https://doi.org/10.5281/zenodo.3601312)
- Jannin, L. (2020c). Dataset experience 3 PHD Thesis - Données expérience 3 Thèse [Data set]. Zenodo. [doi.org/10.5281/zenodo.3601276](https://doi.org/10.5281/zenodo.3601276)
- Jannin, L. (2020d). Dataset experience 4 PHD Thesis - Données expérience 4 Thèse [Data set]. Zenodo. [doi.org/10.5281/zenodo.3601287](https://doi.org/10.5281/zenodo.3601287)
- Jannin, L. (2020e). Dataset experience 5 PHD Thesis - Données expérience 5 Thèse [Data set]. Zenodo. [doi.org/10.5281/zenodo.3601318](https://doi.org/10.5281/zenodo.3601318)
- Janniro, M. J. (1993), Effects of computer-based instruction on student learning of psychophysiological detection of deception test question formulation. *Journal of Computer-based Instruction*, 20, 58–62.
- Jaroslawska, A. J., Gathercole, S. E., Allen, R. J., & Holmes, J. (2016). Following instructions from working memory: Why does action at encoding and recall help?. *Memory & cognition*, 44(8), 1183-1191. [doi:10.3758/s13421-016-0636-5](https://doi.org/10.3758/s13421-016-0636-5)
- Juliens, C. & Danero, L. L. (2018), « On disait qu'on était des soignants... » . In M. Dupuis, R. Gueibe, & W. Hesbeen (eds.), *Simulation et formation aux métiers de la santé* (p. 31-43). Paris, France : Seli Arslan.
- Kamdar, G., Kessler, D. O., Tilt, L., Srivastava, G., Khanna, K., Chang, T. P., ... & Auerbach, M. (2013). Qualitative evaluation of just-in-time simulation-based learning: the learners' perspective. *Simulation in Healthcare*, 8(1), 43-48. [doi:10.1097/SIH.0b013e31827861e8](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31827861e8)
- Kassner, M., Patera, W., & Bulling, A. (2014, September). Pupil: an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. In *Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct publication* (p. 1151-1160). New-York, NY, USA : ACM. [doi:10.1145/2638728.2641695](https://doi.org/10.1145/2638728.2641695)

- Keehner, M., Lippa, Y., Montello, D. R., Tendick, F., & Hegarty, M. (2006). Learning a spatial skill for surgery: How the contributions of abilities change with practice. *Applied Cognitive Psychology, 20*(4), 487-503. [doi:10.1002/acp.1198](https://doi.org/10.1002/acp.1198)
- Keehner, M. M., Tendick, F., Meng, M. V., Anwar, H. P., Hegarty, M., Stoller, M. L., & Duh, Q. Y. (2004). Spatial ability, experience, and skill in laparoscopic surgery. *The American Journal of Surgery, 188*(1), 71-75. [doi.org/10.1016/j.amjsurg.2003.12.059](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2003.12.059)
- Kieras, D. E. (1981). Component processes in the comprehension of simple prose. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 20*(1), 1-23. [doi.org/10.1016/S0022-5371\(81\)90268-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(81)90268-1)
- Kirkpatrick, D., & Kirkpatrick, J. (2006). *Evaluating training programs: The four levels*. San Francisco, CA, USA : Berrett-Koehler Publishers.
- Koedinger, K. R., & Anderson, J. R. (1990). Abstract planning and perceptual chunks: Elements of expertise in geometry. *Cognitive Science, 14*(4), 511-550. [doi.org/10.1016/0364-0213\(90\)90008-K](https://doi.org/10.1016/0364-0213(90)90008-K)
- Koriat, A., Ben-Zur, H., & Nussbaum, A. (1990). Encoding information for future action: Memory for to-be-performed tasks versus memory for to-be-recalled tasks. *Memory & Cognition, 18*(6), 568-578. [doi-org/10.3758/BF03197099](https://doi.org/10.3758/BF03197099)
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition, 29*(5), 745-756. [doi:10.3758/BF03200477](https://doi.org/10.3758/BF03200477)
- Kulik, C. C. and Kulik, J. A. (1991), Effectiveness of computer-based instruction: An updated analysis. *Computers in Human Behaviors, 7*, 75–94. [doi.org/10.1016/0747-5632\(91\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0747-5632(91)90030-5)
- Labrucherie, M. (2011). Le pilotage des avions de ligne. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, (eds.), *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation*. Toulouse, France : Octarès Editions. (p. 9-36).
- Lee, T. D., & Genovese, E. D. (1988). Distribution of practice in motor skill acquisition: Learning and performance effects reconsidered. *Research Quarterly for exercise and Sport, 59*(4), 277-287. [doi.org/10.1080/02701367.1988.10609373](https://doi.org/10.1080/02701367.1988.10609373)
- Leplat, J. (2005) Préface. In P. Pastré, (ed.), *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* (p. 1-6). Toulouse, France : Octarès Editions.

- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3(2), 113-132. [doi.org/10.1016/0959-4752\(93\)90011-N](https://doi.org/10.1016/0959-4752(93)90011-N)
- Leutner, D. (2002). The fuzzy relationship of intelligence and problem solving in computer simulations. *Computers in Human Behavior*, 18(6), 685-697. [doi.org/10.1016/S0747-5632\(02\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(02)00024-9)
- Lieury, A. (2005). *Psychologie de la mémoire: histoire, théories, expériences*. Paris, France : Dunod.
- Mackay, S., Morgan, P., Datta, V., Chang, A., & Darzi, A. (2002). Practice distribution in procedural skills training. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(6), 957-961. [doi-org/10.1007/s00464-001-9132-4](https://doi-org/10.1007/s00464-001-9132-4)
- Marcus, N., Cleary, B., Wong, A., & Ayres, P. (2013). Should hand actions be observed when learning hand motor skills from instructional animations?. *Computers in Human Behavior*, 29(6), 2172-2178. [doi:10.1016/j.chb.2013.04.035](https://doi:10.1016/j.chb.2013.04.035)
- Martin, J. A., Regehr, G., Reznick, R., MacRae, H., Murnaghan, J., Hutchison, C., & Brown, M. (1997). Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *British Journal of Surgery*, 84, 273–278. [doi-org/10.1046/j.1365-2168.1997.02502.x](https://doi-org/10.1046/j.1365-2168.1997.02502.x)
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions?. *Educational psychologist*, 32(1), 1-19. [doi.org/10.1207/s15326985ep3201\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep3201_1)
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages?. *Journal of educational psychology*, 93(2), 390-397. [doi:10.1037/0022-0663.93.2.390](https://doi:10.1037/0022-0663.93.2.390)
- Mayer, R. E., Mathias, A., & Wetzell, K. (2002). Fostering understanding of multimedia messages through pre-training: Evidence for a two-stage theory of mental model construction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(3), 147–154. [doi.org/10.1037/1076-898X.8.3.147](https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.3.147)
- Mayer, R. E., Hegarty, M., Mayer, S., & Campbell, J. (2005). When static media promote active learning: Annotated illustrations versus narrated animations in multimedia

- instruction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11(4), 256-265. [doi:10.1037/1076-898x.11.4.256](https://doi.org/10.1037/1076-898x.11.4.256)
- McGaghie, W. C., Draycott, T. J., Dunn, W. F., Lopez, C. M., & Stefanidis, D. (2011). Evaluating the impact of simulation on translational patient outcomes. *Simulation in healthcare*, 6(Suppl), S42-S47. [doi:10.1097/SIH.0b013e318222fde9](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318222fde9)
- Meulemans, T. (2003). Implicit and explicit learning. In C. J. Doughty, & M. H. Long, (eds.), *The Handbook of Second Language Acquisition*. Blackwell Handbooks in Linguistics. (p. 313-321).
- Meulemans, T., Van der Linden, M., & Perruchet, P. (1998). Implicit sequence learning in children. *Journal of experimental child psychology*, 69(3), 199-221. [doi:10.1006/jecp.1998.2442](https://doi.org/10.1006/jecp.1998.2442)
- Meyer, M. N., Connors, H., Hou, Q., & Gajewski, B. (2011). The effect of simulation on clinical performance: A junior nursing student clinical comparison study. *Simulation in Healthcare*, 6(5), 269-277. [doi:10.1097/SIH.0b013e318223a048](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318223a048)
- Michas, I. C., & Berry, D. C. (2000). Learning a procedural task: effectiveness of multimedia presentations. *Applied Cognitive Psychology*, 14(6), 555-575. [doi.org/10.1002/1099-0720\(200011/12\)14:6<555::AID-ACP677>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1099-0720(200011/12)14:6<555::AID-ACP677>3.0.CO;2-4)
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81-97. [doi.org/10.1037/h0043158](https://doi.org/10.1037/h0043158)
- Mills, B. W., Carter, O. B., Rudd, C. J., Ross, N. P., & Claxton, L. A. (2015). Clinical placement before or after simulated learning environments?: A naturalistic study of clinical skills acquisition among early-stage paramedicine students. *Simulation in Healthcare*, 10(5), 263-269. [doi:10.1097/SIH.0000000000000107](https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000107)
- Mills, C. B., Diehl, V. A., Birkmire, D. P., & Mou, L. C. (1995). Reading procedural texts: Effects of purpose for reading and predictions of reading comprehension models. *Discourse Processes*, 20(1), 79-107. [doi.org/10.1080/01638539509544932](https://doi.org/10.1080/01638539509544932)
- Milner, B. (1962). Les troubles de la mémoire accompagnant des lésions hippocampiques bilatérales. *Physiologie de l'hippocampe*, 107, 257-272.
- Moore, M. G. (1989). Three types of interaction. *American Journal of Distance Education*, 3(2), 1-6. [doi.org/10.1080/08923648909526659](https://doi.org/10.1080/08923648909526659)

- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional science*, 32(1-2), 99-113. [doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021811.66966.1d](https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021811.66966.1d)
- Moreno, R., Mayer, R.E., Spires, H.A. & Lester, J.C. (2001). The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents?. *Cognition and Instruction*, 19(2), 177–214. [doi.org/10.1207/S1532690XCI1902\\_02](https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1902_02)
- Moreno, R., & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having students organize pictures and words in multimedia environments: The role of student interactivity and feedback. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 35-45. [doi.org/10.1007/BF02504796](https://doi.org/10.1007/BF02504796)
- Mouloua, M., Smither, J. A., & Kennedy, R. S. (2009). Space adaptation syndrome and perceptual training. In D. A. Vincenzi, J. A. Wise, M. Mouloua, & P. A. Hancock, (eds.), *Human factors in simulation and training* (p. 239-255). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Moulton, C. A. E., Dubrowski, A., MacRae, H., Graham, B., Grober, E., & Reznick, R. (2006). Teaching surgical skills: what kind of practice makes perfect? a randomized, controlled trial. *Annals of surgery*, 244(3), 400-409. [doi:10.1097/01.sla.0000234808.85789.6a](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000234808.85789.6a)
- Musen, G., Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1990). Intact text-specific reading skill in amnesia. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 1068-1076.
- Mykityshyn, A. L., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2002). Learning to use a home medical device: Mediating age-related differences with training. *Human factors*, 44(3), 354-364. [doi.org/10.1518/0018720024497727](https://doi.org/10.1518/0018720024497727)
- Nestel, D., Groom, J., Eikeland-Husebø, S., & O'donnell, J. M. (2011). Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simulation in Healthcare*, 6(7), S10-S13. [doi:10.1097/SIH.0b013e318227ce96](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318227ce96)
- Norbert, A., Dziuban, C. D., & Moskal, P. D. (2011). A time based blended learning model. *On the Horizon*, 19(3), 207-216. [doi:10.1108/107481211111163913](https://doi.org/10.1108/107481211111163913)
- Nyssen, A. S. (2005) Simulateurs dans le domaine de l'anesthésie. Etudes et réflexion sur les notions de validité et de fidélité. In Pastré, P. (ed.), *Apprendre par la simulation : De*

- l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* (p. 269-283). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Oriot, D., & Alinier, G. (2019). *La simulation en santé. Le débriefing clés en main*. Issy-Les-Moulineaux, France : Elsevier Masson.
- Owen, H. (2012). Early use of simulation in medical education. *Simulation in Healthcare*, 7(2), 102-116. [doi:10.1097/SIH.0b013e3182415a91](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3182415a91)
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434. [doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429](https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429)
- Paas, F., & Sweller, J. (2012). An evolutionary upgrade of cognitive load theory: Using the human motor system and collaboration to support the learning of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 24(1), 27-45. [doi/10.1007/s10648-011-9179-2](https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2)
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implication of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human factors*, 35(4), 737-743. [doi /10.1177/001872089303500412](https://doi.org/10.1177/001872089303500412)
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach (Vol. 9)*. Oxford University Press.
- Palmiter, S., & Elkerton, J. (1993). Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks. *Human-Computer Interaction*, 8(3), 193-216. [doi:10.1207/s15327051hci0803\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327051hci0803_1)
- Pape-Köhler, C., Chmelik, C., Heiss, M. M., & Lefering, R. (2013). Learning success of students in surgery with a multimedia-based manual. A prospective randomized trial. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen*, 84(10), 875-880. [doi.org/10.1007/s00104-013-2529-5](https://doi.org/10.1007/s00104-013-2529-5)
- Pastré, P. (2005). *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse, France : Octarès Editions.
- Phelps, R. H., Wells, R. A., Ashworth, R. L., Jr. and Hahn, H. A. (1991), Effectiveness and costs of distance education using computer-mediated communication. *American Journal of Distance Education*, 5, 7–19. [doi.org/10.1080/08923649109526759](https://doi.org/10.1080/08923649109526759)

- Picciano, A. G. (2009). Blending with purpose: The multimodal model. *Journal of asynchronous learning networks*, 13(1), 7-18. [doi:10.24059/olj.v13i1.1673](https://doi.org/10.24059/olj.v13i1.1673)
- Pluyter, J. R., Buzink, S. N., Rutkowski, A-F., & Jakimowicz, J. J. (2010). Do absorption and realistic distraction influence performance of component task surgical procedure?. *Surgical Endoscopy*, 24(4), 902-907. [doi/10.1007/s00464-009-0689-7](https://doi.org/10.1007/s00464-009-0689-7)
- Policard, F. (2018). La simulation clinique plein échelle : quelle(s) pédagogie(s) pour une activité complexe ?. In M. Dupuis, R. Gueibe, & W. Hesbeen (eds.), *Simulation et formation aux métiers de la santé* (p. 47-63). Paris, France : Seli Arslan.
- Ravenscroft, A., Tait, K., & Hughes, I. (1998). Beyond the media: Knowledge level interaction and guided integration for CBL systems. *Computers & Education*, 30(1-2), 49-56. [doi.org/10.1016/S0360-1315\(97\)00078-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(97)00078-X)
- Reed, S. K. (2012). *Cognition: Theories and applications* (9th ed.). Wadworth, CA, USA : Cengage learning.
- Renaut, P., Chapron, A., Mancheron, P., Allory, E., Hugé, S., Banâtre, G., ...Fiquet, L. (2018). Comment favoriser la construction de savoirs en profondeur par la simulation en santé. In M. Dupuis, R. Gueibe, & W. Hesbeen (eds.), *Simulation et formation aux métiers de la santé*. Paris, France : Seli Arslan. (p. 13-25).
- Renouard, F. (2016). *Le stress : Anticiper et gérer*. Paris, France : Espace id.
- Richard, J. F. (1990). *Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Les activités mentales*. Paris, France : Armand Colin.
- Risucci, D. A. (2002). Visual spatial perception and surgical competence. *The American Journal of Surgery*, 184(3), 291-295. [doi.org/10.1016/S0002-9610\(02\)00937-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(02)00937-6)
- Rogalski, J. (1997). Simulation: Fonctionnalités? Validités? Approche sur le cas de la gestion d'environnements dynamiques ouverts. In P. Béguin, & A. Weill-Fassina (eds.), *La simulation en ergonomie: Connaître, agir et interagir* (p. 55-75). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Rovai, A. P., & Jordan, H. M. (2004). Blended learning and sense of community: A comparative analysis with traditional and fully online graduate courses. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, 5(2), 1-13.
- Samurçay, R. (2005). Concevoir des situations simulées pour la formation professionnelle : une approche didactique. In P. Pastré (ed.), *Apprendre par la simulation : De l'analyse*

- du travail aux apprentissages professionnels* (p. 221-239). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1998). Exploitation didactique des situations de simulation. *Le travail humain*, 61(4), 333-359.
- Savoyant, A. (2005). L'activité en situation de simulation : objet d'analyse et moyen de développement. In P. Pastré (ed.), *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* (p. 41-54). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Schmorrow, D., Nicholson, D., Lackey, S. J., Allen, R. C., Norman, K., & Cohn, J. (2009). Virtual relativity in the training environment. In D. A. Vincenzi, J. A. Wise, M. Mouloua, & P. A. Hancock (eds.), *Human factors in simulation and training* (p. 201-230). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Schneider, E., & Boucheix, J. M. (2004, juin). *Bénéfices d'une animation dans la construction d'un modèle mental*. Communication à la Dixième journée d'études JETCSIC.
- Schultz, K. (1991). The contribution of solution strategy to spatial performance. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(4), 474-491. [doi:10.1037/h0084301](https://doi.org/10.1037/h0084301)
- Seamon, A. G. (2009). The transformation of shiphandling and navigation training. In D. A. Vincenzi, J. A. Wise, M. Mouloua, & P. A. Hancock (eds.), *Human factors in simulation and training* (p. 231-238). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Seybert, A. L., Smithburger, P. L., Kobulinsky, L. R., & Kane-Gill, S. L. (2012). Simulation-based learning versus problem-based learning in an acute care pharmacotherapy course. *Simulation in Healthcare*, 7(3), 162-165. [doi:10.1097/SIH.0b013e31825159e3](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31825159e3)
- Shaikh, F. M., Hseino, H., Hill, A. D., Kavanagh, E., & Traynor, O. (2011). Mobile surgical skills education unit: a new concept in surgical training. *Simulation in Healthcare*, 6(4), 226-230. [doi:10.1097/SIH.0b013e318215da5e](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318215da5e)
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 22(2), 261-273. [doi/10.1080/00335557043000203](https://doi.org/10.1080/00335557043000203)
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703. [doi:10.1126/science.171.3972.701](https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701)

- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, *84*(2), 127-190. [doi:10.1037/0033-295X.84.2.127](https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127)
- Singer, B. D., Corbridge, T. C., Schroedl, C. J., Wilcox, J. E., Cohen, E. R., McGaghie, W. C., & Wayne, D. B. (2013). First-year residents outperform third-year residents after simulation-based education in critical care medicine. *Simulation in healthcare*, *8*(2), 67-71. [doi:10.1097/SIH.0b013e31827744f2](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31827744f2)
- Sitzmann, T., Kraiger, K., Stewart, D., & Wisher, R. (2006). The comparative effectiveness of web-based and classroom instruction: A meta-analysis. *Personnel psychology*, *59*(3), 623-664. [doi/10.1111/j.1744-6570.2006.00049.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2006.00049.x)
- Smithburger, P. L., Kane-Gill, S. L., Ruby, C. M., & Seybert, A. L. (2012). Comparing effectiveness of 3 learning strategies: simulation-based learning, problem-based learning, and standardized patients. *Simulation in Healthcare*, *7*(3), 141-146. [doi:10.1097/SIH.0b013e31823ee24d](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31823ee24d)
- Soler, L., & Marescaux, J. (2011). Simulation chirurgicale virtuelle : les premiers pas d'une nouvelle formation. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet (eds.), *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (p. 91-114). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Spanjers, I. A., Wouters, P., van Gog, T., & van Merriënboer, J. J. (2011). An expertise reversal effect of segmentation in learning from animated worked-out examples. *Computers in Human Behavior*, *27*(1), 46-52. [doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.011](https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.011)
- Spruit, E. N., Band, G. P., Hamming, J. F., & Ridderinkhof, K. R. (2014). Optimal training design for procedural motor skills: a review and application to laparoscopic surgery. *Psychological Research*, *78*(6), 878-891. [doi-org/10.1007/s00426-013-0525-5](https://doi.org/10.1007/s00426-013-0525-5)
- Squire, L. R., Knowlton, B., & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual review of psychology*, *44*(1), 453-495. [doi.org/10.1146/annurev.ps.44.020193.002321](https://doi.org/10.1146/annurev.ps.44.020193.002321)
- Sticht, T. (1985). Understanding readers and their uses of texts. In R. Waller (ed.). *Designing usable texts* (p. 315-340). New-York, NY : Academic Press.
- Sun, P. C., Tsai, R. J., Finger, G., Chen, Y. Y., & Yeh, D. (2008). What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Computers & education*, *50*(4), 1183-1202. [doi:10.1016/j.compedu.2006.11.007](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.007)

- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. [doi:10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295-312. [doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*. 16(2):165-169. [doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.005](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.02.005)
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational psychology review*, 22(2), 123-138. [doi-org/10.1007/s10648-010-9128-5](https://doi-org/10.1007/s10648-010-9128-5)
- Sweller, J. (2016). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360-367. [doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002](https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002)
- Sweller, J., Ayres P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY : Springer.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296. [doi-org/10.1023/A:1022193728205](https://doi-org/10.1023/A:1022193728205)
- Takayesu, J. K., Farrell, S. E., Evans, A. J., Sullivan, J. E., Pawlowski, J. B., & Gordon, J. A. (2006). How do clinical clerkship students experience simulator-based teaching?. A qualitative analysis. *Simulation in Healthcare*, 1(4), 215-219. [doi:10.1097/01.SIH.0000245787.40980.89](https://doi:10.1097/01.SIH.0000245787.40980.89)
- Ten Berge, T., & van Hezewijk, R. (1999). Procedural and declarative knowledge: An evolutionary perspective. *Theory & Psychology*, 9(5), 605-624. [doi-org/10.1177/0959354399095002](https://doi-org/10.1177/0959354399095002)
- Tenison, C., & Anderson, J. R. (2016). Modeling the distinct phases of skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(5), 749-767. [doi.org/10.1037/xlm0000204](https://doi.org/10.1037/xlm0000204)
- Thompson, T. N., Carroll, M. B., & Deaton, J. E. (2009). Justification for use of simulation. In D. A. Vincenzi, J. A. Wise, M. Mouloua, & P. A. Hancock (eds.), *Human factors in simulation and training* (p. 39-48). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37-64.

- Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational psychology review*, 26(2), 265-283. [doi-org/10.1007/s10648-013-9243-1](https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1)
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of memory*, 1, 381-403.
- Tun, J. K., & Kneebone, R. (2011). Bridging worlds: applying the science of motor learning to clinical education. *Medical Education*, 45(2), 111-114. [doi-org/10.1111/j.1365-2923.2010.03914.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03914.x)
- Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne : Département d'enseignement et de recherche de psychologie médicale, (2015). *Paroles d'étudiants, paroles d'enseignants : se former à la relation médecin-malade*. Paris, France : Sipayat.
- Van Genuchten, E., van Hooijdonk, C., Schüler, A., & Scheiter, K. (2014). The role of working memory when 'learning how' with multimedia learning material. *Applied Cognitive Psychology*, 28(3), 327-335. [doi-org/10.1002/acp.2998](https://doi.org/10.1002/acp.2998)
- Van Hooijdonk, C., & Krahmer, E. (2008). Information modalities for procedural instructions: The influence of text, pictures, and film clips on learning and executing RSI exercises. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 51(1), 50-62. [doi:10.1109/TPC.2007.2000054](https://doi.org/10.1109/TPC.2007.2000054)
- Van Merriënboer, J. J., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational psychologist*, 38(1), 5-13. [doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_2](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_2)
- Van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., De Croock, M. B. M., & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and instruction*, 12(1), 11-37. [doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00020-2)
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical education*, 44(1), 85-93. [doi-org/10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x)
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604. [doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599](https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599)

- Vermersch, P. (1985). Données d'observation sur l'utilisation d'une consigne écrite : L'atomisation de l'action. *Le Travail Humain*, 48(2), 161–172. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/40657326>
- Vidal-Gomel, C., Fauquet-Alekhine, P., & Guibert, S. (2011). Réflexions et apports théoriques sur la pratique des formateurs et de la simulation. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet (eds.), *Améliorer la pratique professionnelle par la simulation* (p. 115-141). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Wanzel, K. R., Hamstra, S. J., Anastakis, D. J., Matsumoto, E. D., & Cusimano, M. D. (2002). Effect of visual-spatial ability on learning of spatially-complex surgical skills. *The Lancet*, 359(9302), 230-231. [doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)07441-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07441-X)
- Wanzel, K. R., Hamstra, S. J., Caminiti, M. F., Anastakis, D. J., Grober, E. D., & Reznick, R. K. (2003). Visual-spatial ability correlates with efficiency of hand motion and successful surgical performance. *Surgery*, 134(5), 750-757. [doi.org/10.1016/S0039-6060\(03\)00248-4](https://doi.org/10.1016/S0039-6060(03)00248-4)
- Welsh, E. T., Wanberg, C. R., Brown, K. G., & Simmering, M. J. (2003). E-learning: emerging uses, empirical results and future directions. *International Journal of Training and Development*, 7(4), 245-258. [doi:10.1046/j.1360-3736.2003.00184.x](https://doi.org/10.1046/j.1360-3736.2003.00184.x)
- Wiggins, G. (1993). Assessment: Authenticity, context, and validity. *Phi Delta Kappan*, 75(3), 200-208.
- Wong, A., Marcus, N., Ayres, P., Smith, L., Cooper, G. A., Paas, F., & Sweller, J. (2009). Instructional animations can be superior to statics when learning human motor skills. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 339-347. [doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.012](https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.012)
- Wong, A., Leahy, W., Marcus, N., & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning and Instruction*, 22(6), 449-457. [doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.004](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.004)
- Wright, P. (1981). "The instructions clearly state..." Can't people read?. *Applied ergonomics*, 12(3), 131-141. [doi.org/10.1016/0003-6870\(81\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(81)90002-8)
- Wright, P., & Wilcox, P. (1978). Following instructions: An exploratory trisection of imperatives. In W.J.M. Levelt, & G.B. Flores d' Arcais (eds.), *Studies in the perception of language* (p. 129-153). Hillsdale, N.J : Wiley.

- Yang, T. X., Allen, R. J., Yu, Q. J., & Chan, R. C. (2015). The influence of input and output modality on following instructions in working memory. *Scientific reports*, 5, 1-8. [doi.org/10.1038/srep17657](https://doi.org/10.1038/srep17657)
- Yang, T., Gathercole, S. E., & Allen, R. J. (2014). Benefit of enactment over oral repetition of verbal instruction does not require additional working memory during encoding. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(1), 186-192. [doi-org/10.3758/s13423-013-0471-7](https://doi.org/10.3758/s13423-013-0471-7)
- Yeung, A. S., Jin, P., & Sweller, J. (1998). Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary educational psychology*, 23(1), 1-21. [doi.org/10.1006/ceps.1997.0951](https://doi.org/10.1006/ceps.1997.0951)
- Zendejas, B., Brydges, R., Wang, A. T., & Cook, D. A. (2013). Patient outcomes in simulation-based medical education: a systematic review. *Journal of General Internal Medicine*, 28(8), 1078-1089. [doi-org/10.1007/s11606-012-2264-5](https://doi.org/10.1007/s11606-012-2264-5)
- Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D., & Glick, S. (2006). Simulation-based medical education: An ethical imperative. *Simulation in Healthcare*, 1(4), 252–256. [doi.org/10.1097/01.SIH.0000242724.08501.63](https://doi.org/10.1097/01.SIH.0000242724.08501.63)



## INDEX DES FIGURES

<i>Figure 1.</i> Classification structurale de la mémoire à long terme, adapté de Squire, Knowlton et Mussen (1993).....	25
<i>Figure 2.</i> Distinctions entre les connaissances biologiquement primaires et secondaires (Inspiré de Paas & Sweller, 2014, p. 29).....	28
<i>Figure 3.</i> Principes de fonctionnement de l'architecture cognitive selon Paas & Sweller (2014) .....	41
<i>Figure 4.</i> Représentation schématique de la structure des systèmes symboliques verbal et non-verbal, montrant les unités représentatives et leurs interconnexions référentielles (entre les systèmes) et associatives (dans les systèmes) ainsi que les connexions aux systèmes d'entrées et sorties. Les unités sans connexions référentielles correspondent respectivement à des mots abstraits et des images sans noms (Paivio, 1990).....	52
<i>Figure 5.</i> Modèle de l'apprentissage multimédia, d'après Mayer (2014). Le processus d'encodage (en pointillés) a été ajouté et ne fait pas partie du modèle original. ....	55
<i>Figure 6.</i> Étapes de la situation de simulation .....	111
<i>Figure 7.</i> Différences dans les simulations pour l'apprentissage.....	113
<i>Figure 8.</i> Pyramide d'évaluation des formations, d'après Kirkpatrick et Kirkpatrick (2006) .	127
<i>Figure 9.</i> Peau synthétique. Tiré de : <a href="https://diamedicalusa.com/medical-equipment/manikins/suturing/professional-skin-pad/">https://diamedicalusa.com/medical-equipment/manikins/suturing/professional-skin-pad/</a> .....	140
<i>Figure 10.</i> Instruments chirurgicaux .....	141
<i>Figure 11.</i> Aiguille filée de marque Polysorb. ....	141
<i>Figure 12.</i> Document vidéo de la procédure présenté à l'aide du lecteur Films et TV Windows 10.....	154
<i>Figure 13.</i> Document photo de la procédure présenté dans Adobe Reader.....	155
<i>Figure 14.</i> Eye-tracker monoculaire Pupil Labs. Tiré de : <a href="https://docs.pupil-labs.com/@PupilLabs">https://docs.pupil-labs.com/@PupilLabs</a> .....	156
<i>Figure 15.</i> Exemple d'images obtenues avec l'eye-tracker. La cible rouge représente le regard du participant.....	157
<i>Figure 16.</i> Durée de réalisation pour les 5 essais (cumulant les durées de consultation des instructions et d'exécution). Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation.....	161
<i>Figure 17.</i> Durée de réalisation de la procédure pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.....	162
<i>Figure 18.</i> Durée de consultation des instructions pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.....	163
<i>Figure 19.</i> Durée d'exécution du geste pour les 5 essais en fonction du format des instructions. Les barres représentent les écarts-types.....	165

<i>Figure 20.</i> Nombre d’alternances entre la consultation des instructions et l’exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. ....	166
<i>Figure 21.</i> Scores OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.....	167
<i>Figure 22.</i> Photographies montrant les prérequis dans TIP-EXE, L’image en bas à gauche est activée (nette). ....	183
<i>Figure 23.</i> Durée de réalisation pour les 5 essais (cumulant les durées de consultation des instructions et d’exécution). Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation. ....	187
<i>Figure 24.</i> Durée de réalisation de la procédure pour les 5 essais en fonction du paradigme d’étude. Les barres représentent les écarts-types. ....	188
<i>Figure 25.</i> Durée de consultation des instructions pour les 5 essais en fonction du paradigme d’étude. Les barres représentent les écarts-types. ....	190
<i>Figure 26.</i> Nombre d’alternances entre la consultation des instructions et l’exécution du geste pour le groupe « exécution atomisée » pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. ....	192
<i>Figure 27.</i> Durée d’une consultation des instructions pour le groupe « exécution atomisée » pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.....	193
<i>Figure 28.</i> Nombre d’erreurs pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. ..	194
<i>Figure 29.</i> Scores OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.....	195
<i>Figure 30.</i> Score OSATS pour les 5 essais en fonction du paradigme d’étude. Les barres représentent les écarts-types. ....	196
<i>Figure 31.</i> Photographies montrant les prérequis dans TIP-EXE, présentés selon le point de vue hétérocentré (en haut) et égocentré (en bas). ....	210
<i>Figure 32.</i> Durée de réalisation de la procédure pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types. ....	214
<i>Figure 33.</i> Durée de la réalisation de la procédure pour la deuxième session en fonction du point de vue. Les barres représentent les écarts-types.....	216
<i>Figure 34.</i> Durée de consultation des instructions pour la première session. Les barres représentent les écarts-types. ....	217
<i>Figure 35.</i> Durée d’exécution du geste pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types. ....	218
<i>Figure 36.</i> Nombre d’alternances entre la consultation des instructions et l’exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types.....	219
<i>Figure 37.</i> Nombre d’erreurs pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types. ....	220
<i>Figure 38.</i> Score OSATS pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types. ..	222
<i>Figure 39.</i> Durée de réalisation (séparée en durées d’exécution et de consultation des instructions) pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types pour la durée de réalisation. ....	235

*Figure 40.* Nombre d'alternances entre la consultation des instructions et l'exécution du geste pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. .... 238

*Figure 41.* Nombre d'erreurs pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. .. 239

*Figure 42.* Score OSATS pour les 5 essais. Les barres représentent les écarts-types. .... 240

*Figure 43.* Organisation de la procédure expérimentale. .... 256

*Figure 44.* Nombre d'erreurs pour les deux sessions. Les barres représentent les écarts-types. .... 258

*Figure 45.* Scores OSATS pour les deux sessions en fonction de l'organisation de l'apprentissage. Les barres représentent les écarts-types. .... 259



## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Catégories de charge cognitive (Inspiré de Paas &amp; Sweller, 2014 "Categories of cognitive load", p. 39)</i> .....	45
Tableau 2. <i>Relation conceptuelle entre les systèmes symboliques et sensoriels avec exemples de types d'informations spécifiques selon une modalité représentée dans chaque sous-système. Adapté de Paivio (1990)</i> .....	51
Tableau 3. <i>Différents objectifs de la simulation et exemples les illustrant</i> .....	104
Tableau 4. <i>Différents types de fidélités en simulation</i> .....	106
Tableau 5. <i>Score OSATS moyens par point de vue et par aptitude à la rotation mentale</i> .....	240



# ANNEXES

## Annexe 1 - Échelle OSATS (Objective Structured Assessment of Technical Skills) par Martin et al. (1997), traduite en français et adaptée par Bréaud et al.

	1	2	3	4	5	
<p><b>Echelle OSATS (Objective Structured Assessments of Technical Skills)</b></p> <p><u>A. Respect des tissus :</u>            1 : fragilisation ou lésion des tissus par une utilisation d'instruments inadaptés et/ou par une préhension trop forte ou trop répétée            3 : quelques erreurs fragilisant ou lésant les tissus malgré une préhension prudente et appropriée            5 : préhension toujours appropriée sans lésion ou fragilisation des tissus</p> <p><u>B. Gestuelle :</u>            1 : beaucoup de gestes inutiles            3 : gestuelle efficace mais encore parasitée par quelques mouvements inutiles            5 : économie nette de mouvements avec résultat optimal</p> <p><u>C. Préhension, manipulation des instruments :</u>            1 : préhension maladroite et imprécise et/ou utilisation d'instruments inadaptés au geste réalisé            3 : utilisation adaptée des instruments mais préhension parfois maladroite et/ou raideur dans la préhension            5 : mouvements fluides et manipulation des instruments avec souplesse</p> <p><u>D. Réalisation d'une suture :</u>            1 : maladroite et indécise avec des enchevêtrements du fil, une mauvaise tenue des nœuds et une incapacité à maintenir la tension sur les fils.            3 : précise et lente, la majorité des nœuds étant placés correctement avec une tension adéquate.            5 : réalisation parfaitement contrôlée avec un placement et une tension des nœuds correcte.</p> <p><u>E. Dérroulement de la procédure :</u>            1 : procédure arrêtée fréquemment, impression de mauvaise connaissance de l'étape suivante            3 : progression de la procédure raisonnable avec anticipation et planification des étapes            5 : procédure parfaitement planifiée et efficace du début à la fin.</p> <p><u>F. Connaissance de la procédure :</u>            1 : connaissance insuffisante semblant non sûre, présence d'hésitations            3 : connaissant toutes les étapes importantes de la procédure            5 : démontre une aisance et une habitude de l'ensemble des étapes de la procédure</p> <p><u>G. Performance globale :</u>            1 : très mauvaise            3 : compétence acquise            5 : compétence clairement supérieure</p> <p><u>H. Qualité du produit final :</u>            1 : très mauvaise            3 : acceptable            5 : parfaite</p>						

N° sujet : \_\_\_\_\_ Date de passation : \_\_\_\_\_

## Annexe 2 - Échelles des erreurs à ne pas faire

ERREURS COMMISES	
	OUI
Pique avec l'aiguille non perpendiculaire à la peau	
Point court et/ou superficiel	
Point asymétrique	
Points en biais	
Marche sur le point	
Coupe du fil avec traction	

## Annexe 3 - Questionnaire pré-expérience

### Questionnaire pré-expérience

Renseignements:

**Vous êtes ?** Un homme  Une femme

**Vous êtes ?** Droitier  Gaucher

**Age :** \_\_\_\_\_

**Avez-vous déjà fait un point de suture ?** Oui  Non

**Avez-vous déjà vu quelqu'un faire un point de suture ?** Oui  Non

Notez la véracité de l'affirmation en entourant le chiffre correspondant :

	Pas du tout	Tout à fait
Je me sens sûr(e) de moi pour réaliser un point de suture dans une situation simulée	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1
Je me sens sûr(e) de moi pour réaliser un point de suture dans une situation réelle	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1
Je pense que si je réalise un point de suture il sera de bonne qualité	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1
Je pratique souvent la couture	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1
Je pratique souvent des activités manuelles	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1

Date de la passation :  
N°:

Cadre expérimentateur

## Annexe 4 - Questionnaire post-expérience

### Questionnaire post-expérience

Notez la véracité de l'affirmation en entourant le chiffre correspondant :

	Pas du tout					Tout à fait				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
J'ai trouvé l'apprentissage du point de suture facile										
J'ai l'impression que mes connaissances sur les points de suture se sont améliorées après cet exercice										
J'ai l'impression que mes compétences en point de suture se sont améliorées après cet exercice										
Je me sens sûr(e) de moi pour réaliser un point de suture dans une situation simulée										
Je me sens sûr(e) de moi pour réaliser un point de suture dans une situation réelle										
Je pense que si je réalise un point de suture il sera de bonne qualité										
Si je devais reproduire cet exercice dans une semaine je serais capable d'atteindre le même niveau de performance										
J'ai l'impression que j'aurais moins besoin d'aide pour réaliser un point de suture que mes camarades n'ayant pas fait l'exercice										
Je pense que cet exercice est globalement intéressant.										
Je pense que l'on devrait prévoir des exercices comme celui-là dans le cursus médical.										
Si cet exercice était proposé en ligne et le matériel prêté par la Faculté, je m'entraînerais à la maison										

Date de passation :  
N° :

Cadre expérimentateur

**Annexe 5 - Vue du NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load index) élaborée par Hart et Staveland, (1988) administrée via le logiciel Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008)**

Nasa-tlx (fr)

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**EXIGENCE PHYSIQUE:** Quelle quantité d'activité physique était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. pousser, déplacer, tourner, manipuler etc.) ?

Faible  Fort

**EXIGENCE TEMPORELLE:** Quelle pression temporelle avez-vous ressentie durant l'exécution de la tâche ? Fallait-il gérer la tâche de manière lente (pression temporelle faible) ou de manière rapide (pression temporelle forte) ?

Faible  Fort

**EFFORT:** Quel effort (mental et physique) avez-vous dû fournir pour atteindre votre niveau de performance ?

Faible  Fort

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Ok

Nasa-tlx (fr)

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**EXIGENCE PHYSIQUE:** Quelle quantité d'activité physique était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. pousser, déplacer, tourner, manipuler etc.) ?

Faible  Fort

**EXIGENCE TEMPORELLE:** Quelle pression temporelle avez-vous ressentie durant l'exécution de la tâche ? Fallait-il gérer la tâche de manière lente (pression temporelle faible) ou de manière rapide (pression temporelle forte) ?

Faible  Fort

**EFFORT:** Quel effort (mental et physique) avez-vous dû fournir pour atteindre votre niveau de performance ?

Faible  Fort

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Ok

Instructions

On each of the following 15 screens, click on the scale title that represent the most important contributor to workload for the task.

OK

Nasa-tlx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Temporelle

or

Performance

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Physique

or

Exigence Temporelle

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.**

Exigence Physique

**or**

Effort

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.**

Exigence Mentale

**or**

Performance

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Nasa-tlx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Physique

or

Frustration

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Effort

or

Performance

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Temporelle

or

Effort

**PERFORMANCE:** [Attention l'échelle est inversée.] Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Performance

or

Frustration

**PERFORMANCE:** [Attention l'échelle est inversée.] Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) ✕

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Effort

or

Frustration

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) ✕

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Mentale

or

Frustration

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.**

Exigence Physique

**or**

Performance

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Nasa-tlx (fr) X

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

**Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.**

Exigence Mentale

**or**

Exigence Temporelle

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Nasa-tbx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Temporelle

or

Frustration

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tbx (fr) [X]

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible ————— Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Mentale

or

Effort

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon ————— Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible ————— Fort

Ok

Nasa-tlx (fr) ×

**EXIGENCE MENTALE:** Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était nécessaire pour la réalisation de la tâche (par ex. réfléchir, décider, chercher, etc.) ?

Faible  Fort

Click on the factor that represents the more important contributor to workload for the task.

Exigence Mentale

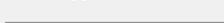
or

Exigence Physique

**PERFORMANCE:** (Attention l'échelle est inversée.) Comment jugez-vous votre performance à la réalisation de la tâche ? (Quel est votre niveau de satisfaction concernant votre performance ?)

Bon  Faible

**FRUSTRATION:** Est-ce que vous vous êtes senti satisfait, content, relaxé (= niveau de frustration faible) ou plutôt ennuyé, irrité, stressé (= niveau de frustration élevé) pendant la réalisation de la tâche ?

Faible  Fort

Ok

## Annexe 6 - Échelles d'effort mental, traduite de Paas et van Merriënboer (1993)

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre **effort mental** ressenti lors de la réalisation du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 <sup>er</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre **effort mental** ressenti lors de la réalisation du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre **effort mental** ressenti lors de la réalisation du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre **effort mental** ressenti lors de la réalisation du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous votre **effort mental** ressenti lors de la réalisation du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 <sup>ème</sup> Essai									

## Annexe 7 - Échelles de difficulté perçue

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous **la difficulté de réalisation** du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 <sup>er</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous **la difficulté de réalisation** du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous **la difficulté de réalisation** du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous **la difficulté de réalisation** du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 <sup>ème</sup> Essai									

Sur une échelle de 1(Extrêmement faible) à 9 (Extrêmement élevé), comment situez-vous **la difficulté de réalisation** du point de suture ?

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 <sup>ème</sup> Essai									

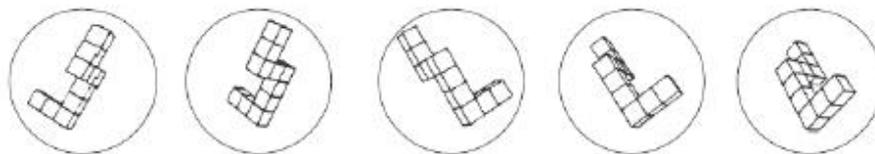
## Annexe 8 - Test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978), étalonné et adapté en langue française par Albaret et Aubert (1996)

### ANNEXE

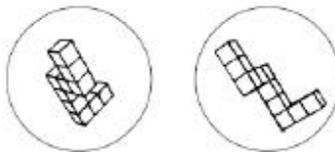
#### Test de rotation mentale

adapté par S.G. Vandenberg, université du Colorado, 1971  
consignes révisées par H. Crawford, université du Wyoming, 1979  
traduction française par J.M. Albaret et E. Aubert, 1990

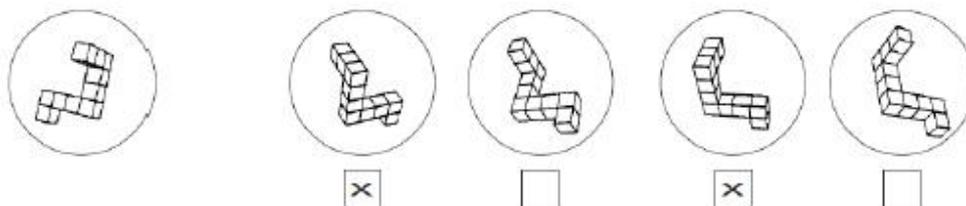
“Ceci est un test destiné à mesurer votre aptitude à reconnaître le dessin d'un objet donné parmi un ensemble d'objets différents. La seule différence entre l'objet original et l'objet à trouver consiste en une modification de l'angle sous lequel il est vu. Une illustration de ce procédé est donnée ci-dessous, où la même figure est présentée dans cinq positions. Regardez chacun d'entre eux pour vous rendre compte vous-même qu'ils sont seulement présentés sous un angle différent l'un de l'autre.”



“Ci-dessous, vous voyez deux dessins d'un nouvel objet. Ils ne peuvent pas être appariés avec les cinq dessins ci-dessus. Notez que vous ne pouvez pas retourner les objets. Voyez vous-mêmes qu'ils sont différents.”

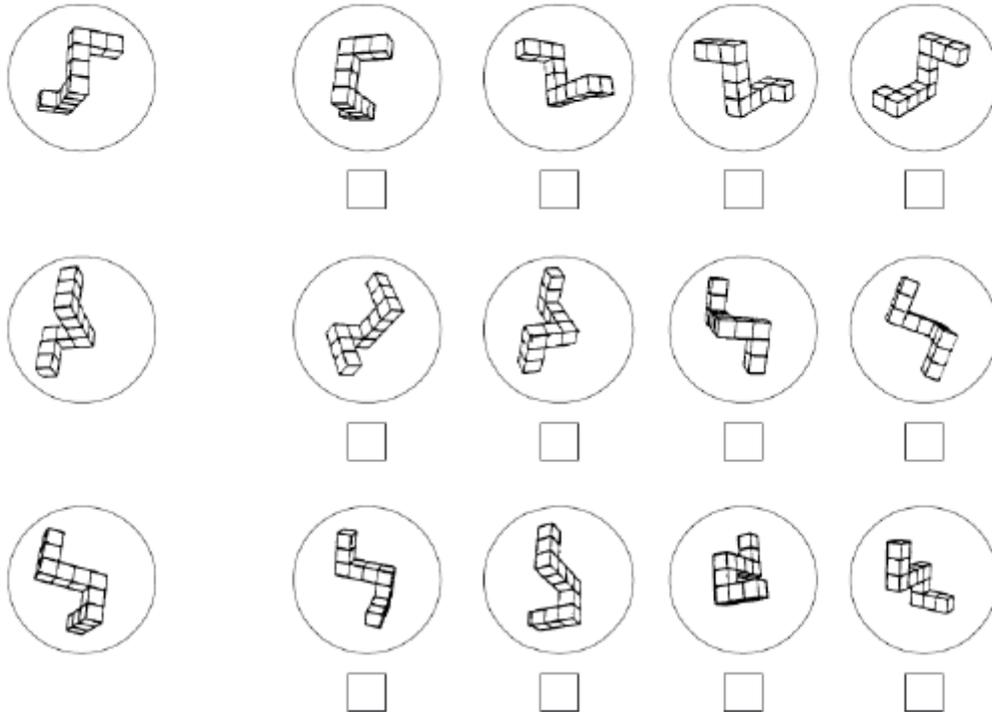


“Maintenant, vous allez faire quelques problèmes en guise d'exemple. Pour chaque problème il y a un premier dessin tout à fait à gauche. Vous devez indiquer parmi les quatre structures à droite, les deux qui sont semblables au modèle donné à gauche. Dans chaque problème, il y a toujours deux dessins semblables à celui de gauche. Mettez un x dans les cases sous les dessins corrects et laissez un blanc dans celles qui sont incorrectes. Le premier exemple est déjà complété.”



“Tournez la page.”

Complétez les exemples suivants vous-même. Quels sont les deux dessins, parmi les quatre situés à droite, qui montrent la même structure que celle de gauche ? Il y a toujours deux et seulement deux réponses correctes pour chaque problème. Mettez un x sous les deux dessins corrects." (3 exemples à compléter, puis à corriger immédiatement).



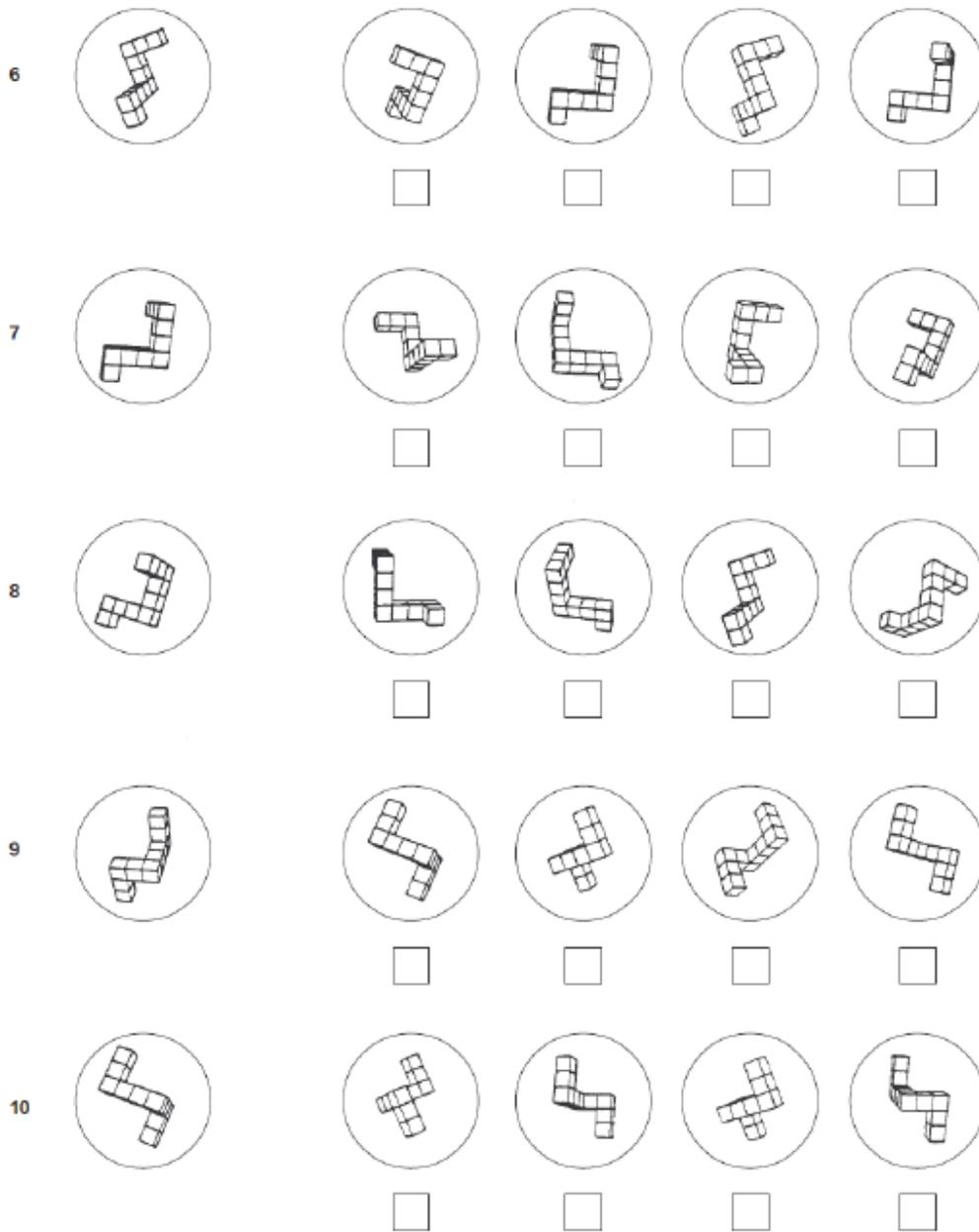
"Réponses : 1 - Premier et second dessins corrects  
 2 - Premier et troisième dessin corrects  
 3 - Deuxième et troisième dessins corrects

Ce test comprend deux parties. Vous avez 3 minutes pour chacune. Chaque partie a deux pages. Quand vous avez fini la partie 1, arrêtez-vous. Ne commencez pas la partie 2 avant d'en être prié. Rappelez-vous qu'il y a toujours deux et seulement deux réponses correctes par item. Travaillez aussi rapidement que vous pouvez sans négliger l'exactitude. Votre score à ce test dépend à la fois des réponses correctes et incorrectes. Cependant, vous n'avez pas intérêt à deviner sans avoir une idée sur l'exactitude de votre choix.

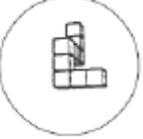
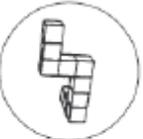
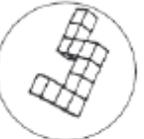
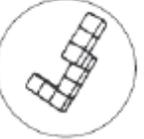
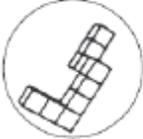
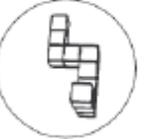
Ne tournez pas la page avant le signal.



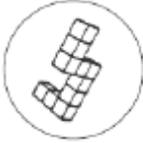
Aller à la page suivante.



Ne tournez pas la page avant le signal.

11					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aller à la page suivante.

16 

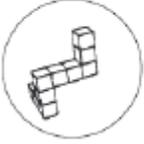


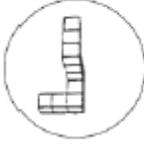


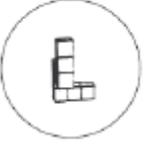




17 



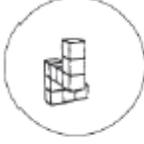


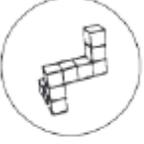




18 





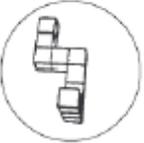


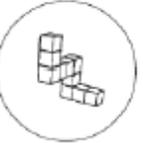


19 







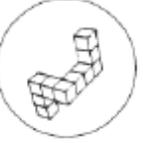


20 









STOP

## Perspective Taking/Spatial Orientation Test

Developed by Mary Hegarty, Maria Kozhevnikov, David Waller

This package contains:

- test instructions
- test
- answer key

It is important that the instructions are followed carefully when administering the test. In particular, participants should not be allowed to make any marks on the diagram showing the configuration of objects, and they should not be allowed to rotate the test booklet.

Further information on the ability measured by this test can be found in the following publications. This version of the test was used by Hegarty and Waller (2004) and is a revised version of the test used by Kozhevnikov and Hegarty (2001).

Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, *32*, 175-191.

Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation and perspective-taking spatial abilities. *Memory & Cognition*, *29*, 745-756.

For electronic copies of those publications and this test package, see:  
<http://www.psych.ucsb.edu/~hegarty/>

© University of California, Santa Barbara  
 Redrawn January 2008

## Spatial Orientation Test

Ceci est un test de votre capacité à imaginer différentes perspectives ou orientations dans l'espace. Sur chacune des pages suivantes, vous verrez une image d'un tableau d'objets et un «cercle flêché» avec une question sur la direction de certains des objets. Pour répondre à la question de chaque page, vous devez imaginer que vous vous tenez sur un objet du tableau (qui sera nommé au centre du cercle) et que vous faites face à un autre objet, nommé en haut du cercle. Votre tâche consiste à tracer une flêche à partir du centre de l'objet pour indiquer la direction à un troisième objet à partir de cette orientation.

Regardez l'exemple à la page suivante. Dans cet exemple, il vous est demandé d'imaginer que vous vous tenez sur la fleur, nommée au centre du cercle, et faites face à l'arbre, nommé en haut du cercle. Votre tâche consiste à dessiner une flêche pointant vers le chat. Dans l'exemple de l'article, cette flêche a été dessinée pour vous. Dans les éléments de test, votre tâche est de dessiner cette flêche. Comprenez-vous que si vous étiez sur la fleur et en face de l'arbre, le chat serait dans cette direction? Si il vous plaît, demander maintenant à l'expérimentateur si vous avez des questions sur ce que vous devez faire.

Il y a 12 exercices dans ce test, un sur chaque page. Pour chacun, le tableau d'objets est affiché en haut de la page et le cercle flêché est affiché en bas. Veuillez ne pas prendre ou tourner le cahier de test et ne pas laisser de marques sur les cartes. Essayez de marquer les bonnes directions mais ne perdez pas trop de temps sur une question.

Vous aurez 5 minutes pour ce test.

# Annexe 9 - Test de prise de perspective de Hergarty & Waller (2004) traduit en français et sa solution (non traduite)

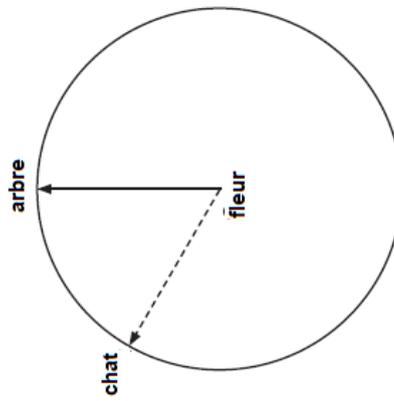
Test d'orientation spatiale

Nom: \_\_\_\_\_



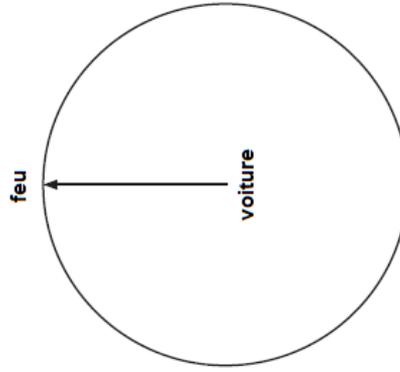
**Exemple:**

Imaginez que vous êtes sur la fleur et faites face à l'arbre.  
Indiquez la direction du **chat**.



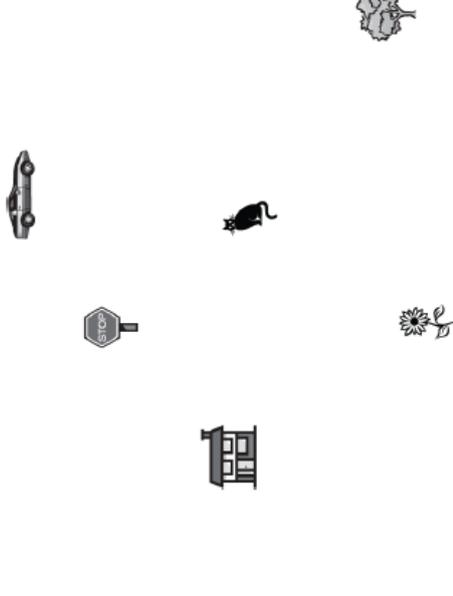
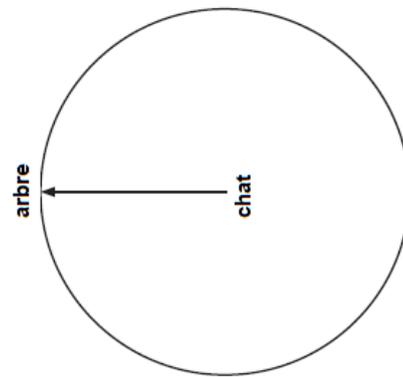
**1.** Imaginez que vous êtes sur la **voiture** et faites face au **feu**.

Indiquez la direction du **STOP**.

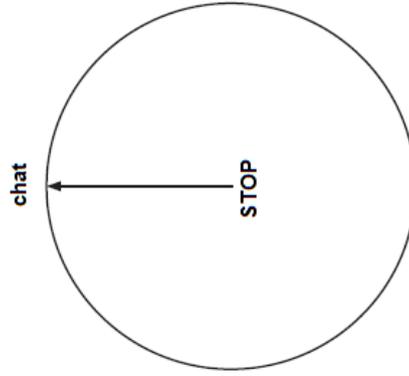


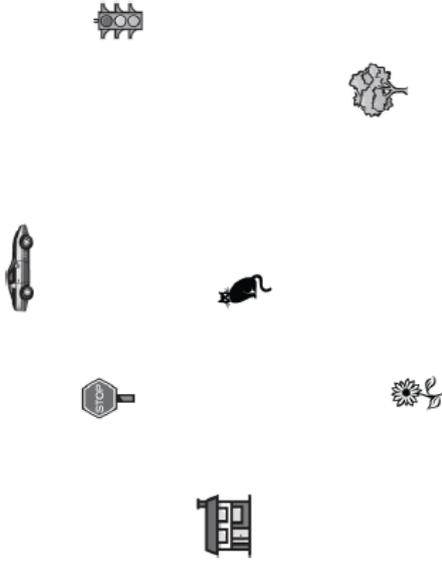


2. Imaginez que vous êtes sur le **chat** et faites face à l'**arbre**.  
Indiquez la direction de la **voiture**.

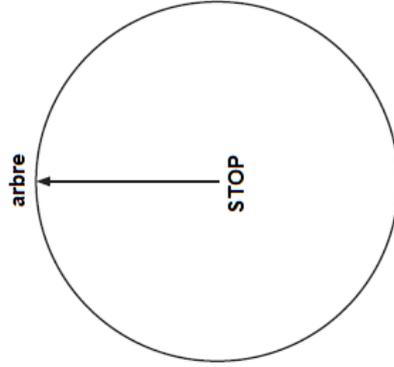


3. Imaginez que vous êtes sur le **STOP** et faites face au **chat**.  
Indiquez la direction de la **maison**.

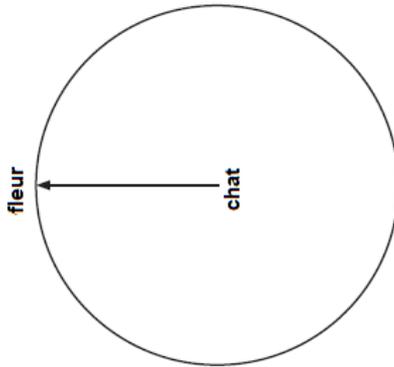


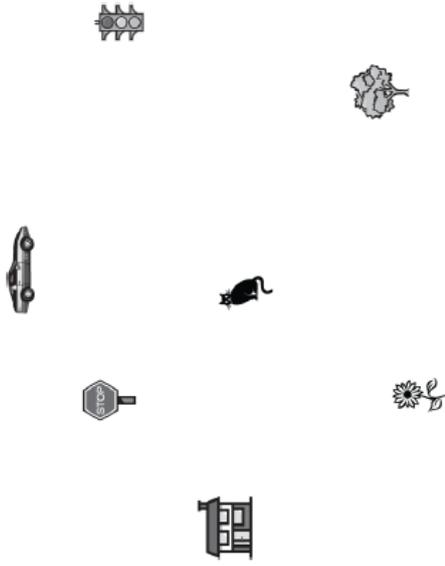


5. Imaginez que vous êtes sur le **STOP** et faites face à l'**arbre**.  
Indiquez la direction du **feu**.

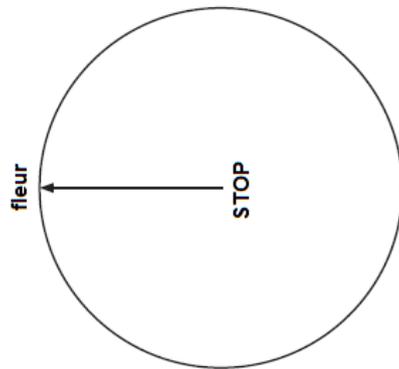


4. Imaginez que vous êtes sur le **chat** et faites face à la **fleur**.  
Indiquez la direction de la **voiture**.

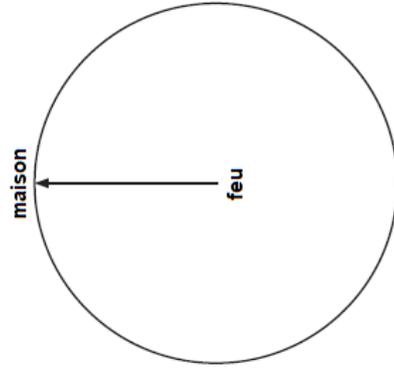


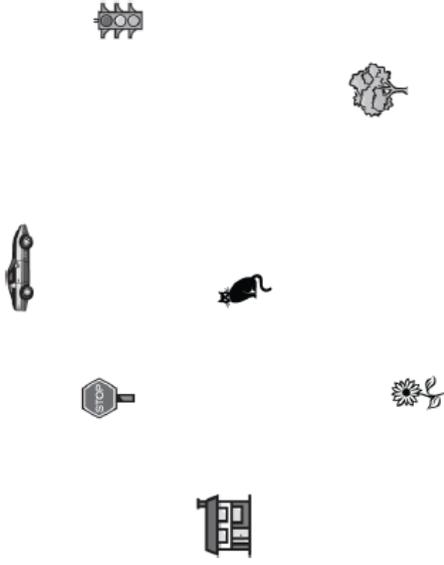


6. Imaginez que vous êtes sur le **STOP** et faites face à la **fleur**.  
Indiquez la direction de la **voiture**.

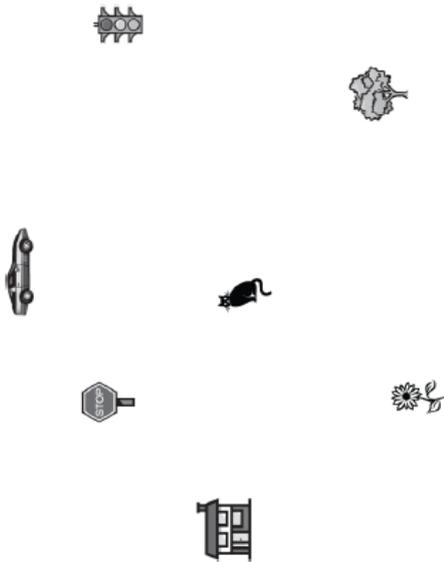
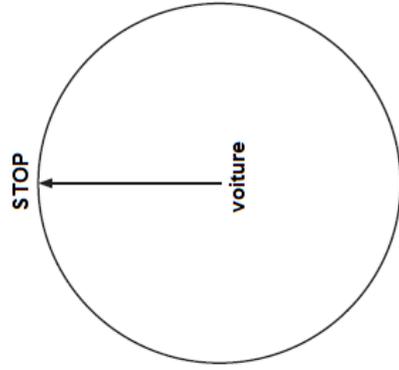


7. Imaginez que vous êtes sur le **feu** et faites face à la **maison**.  
Indiquez la direction de la **fleur**.

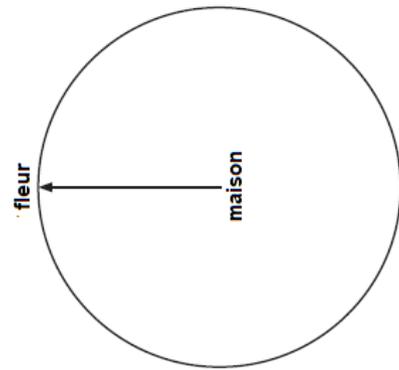




9. Imaginez que vous êtes sur la **voiture** et faites face au **STOP**.  
Indiquez la direction de l'**arbre**.

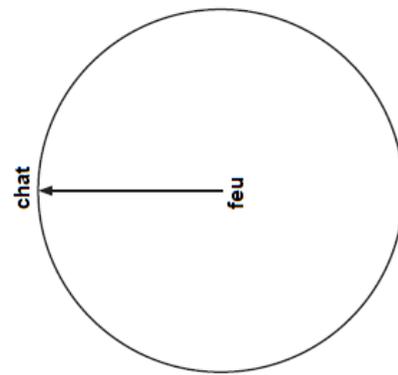


8. Imaginez que vous êtes sur la **maison** et faites face à la **fleur**.  
Indiquez la direction du **STOP**.

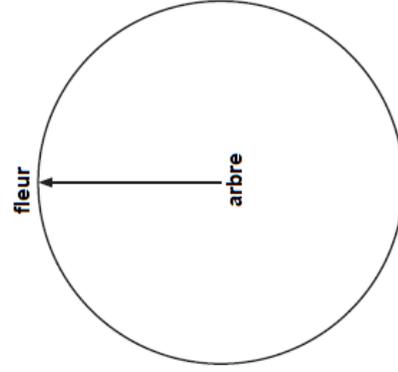




10. Imaginez que vous êtes sur le **feu** et faites face au **chat**.  
Indiquez la direction de la **voiture**.



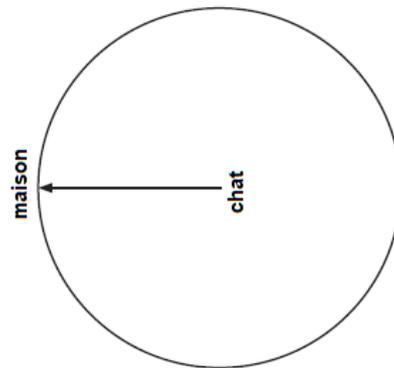
11. Imaginez que vous êtes sur l'**arbre** et faites face à la **fleur**.  
Indiquez la direction de la **maison**.

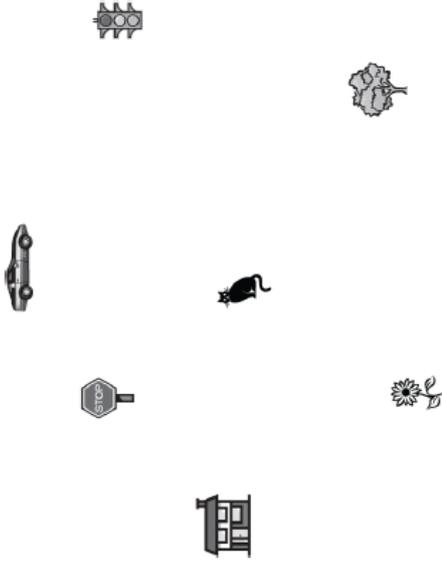


## Answer Key

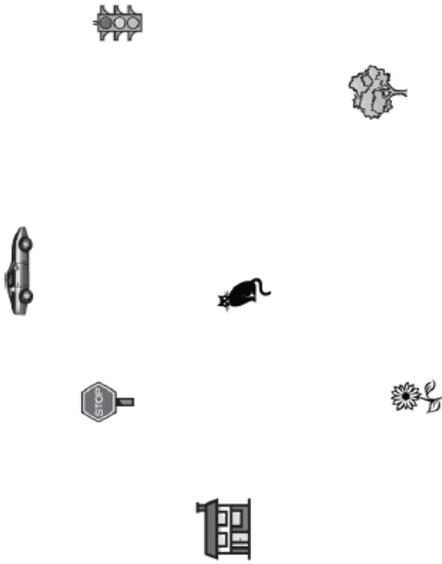
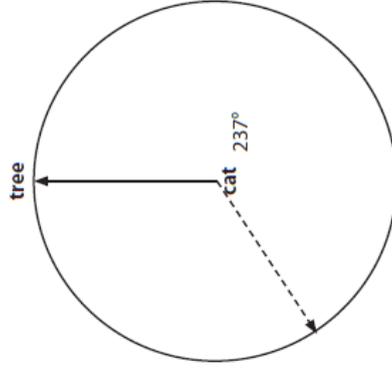


12. Imaginez que vous êtes sur le **chat** et faites face à la **maison**.  
Indiquez la direction du **feu**.

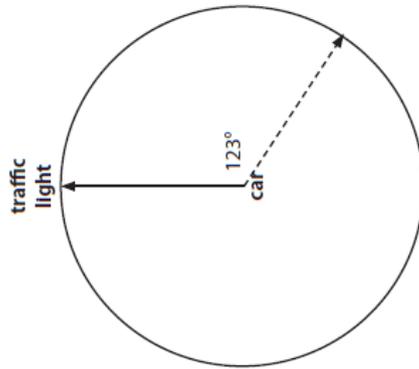


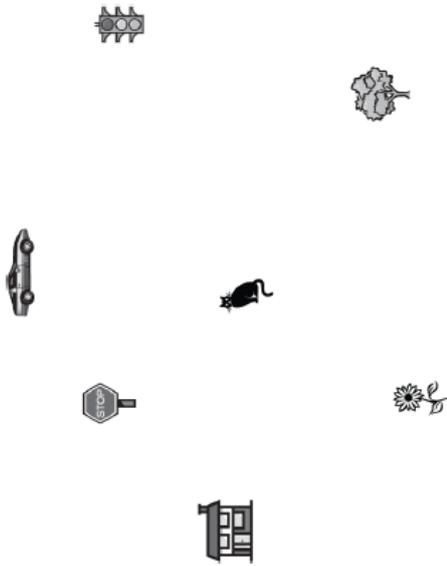


2. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **tree**.  
Point to the **car**.

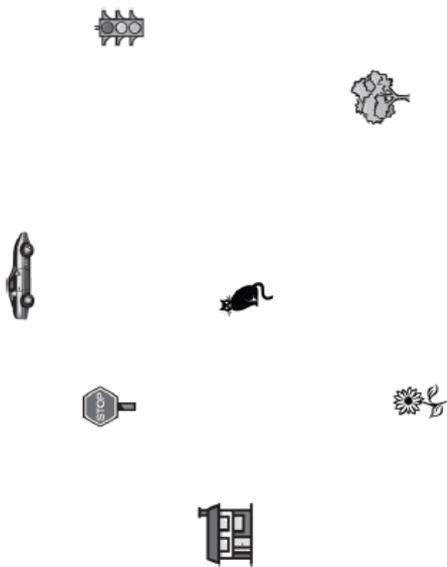
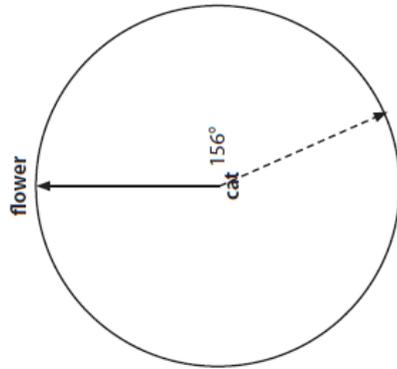


1. Imagine you are standing at the **car** and facing the **traffic light**.  
Point to the **stop sign**.

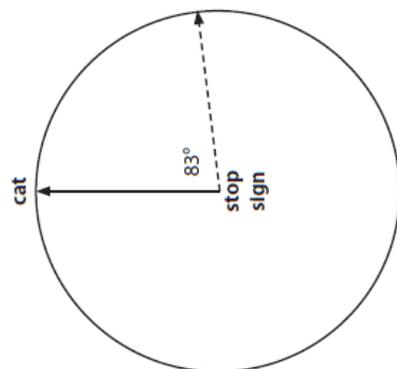




4. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **flower**.  
Point to the **car**.

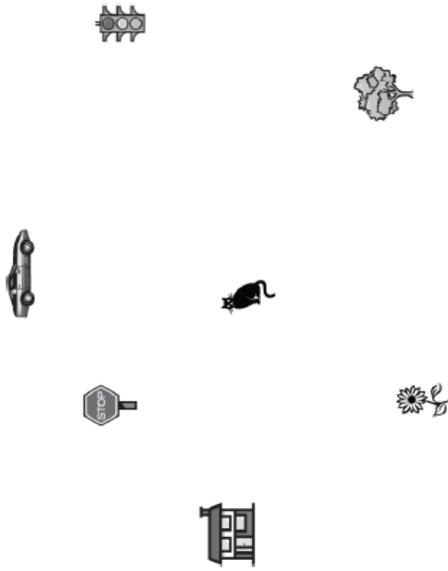
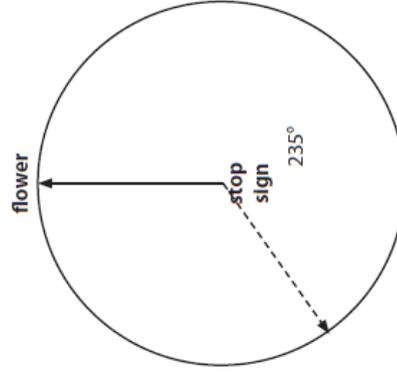


3. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **cat**.  
Point to the **house**.

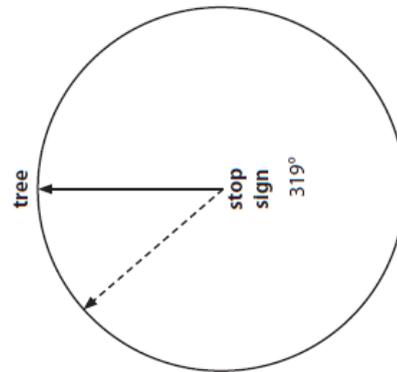


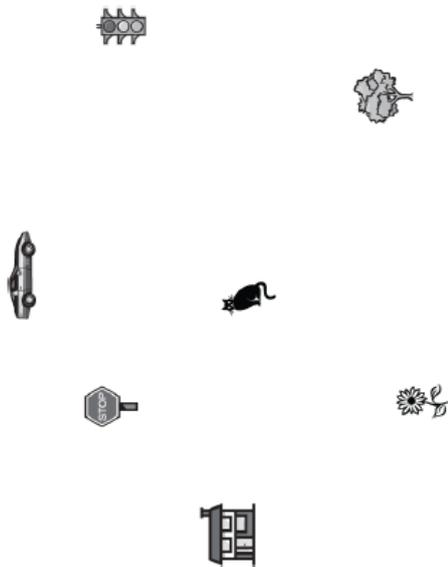


6. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **flower**.  
Point to the **car**.

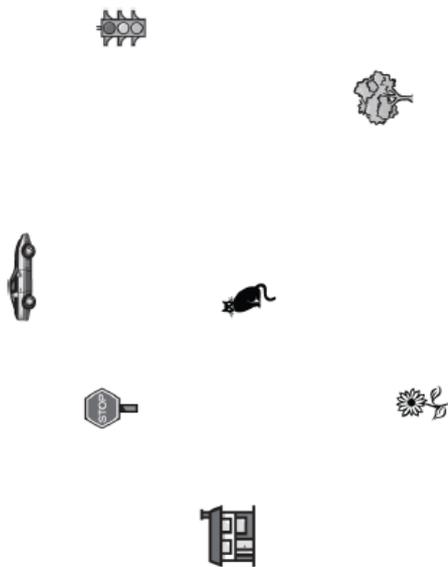
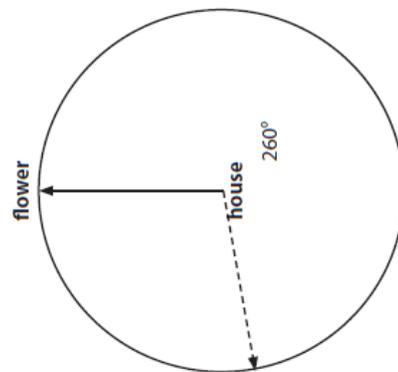


5. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **tree**.  
Point to the **traffic light**.

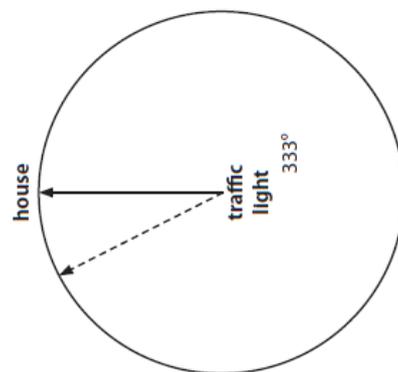


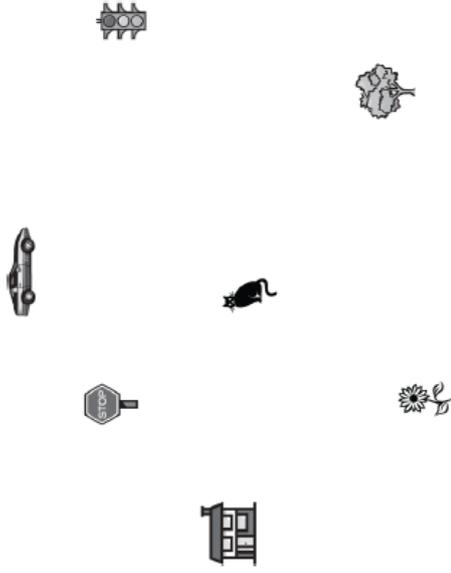


8. Imagine you are standing at the **house** and facing the **flower**.  
Point to the **stop sign**.

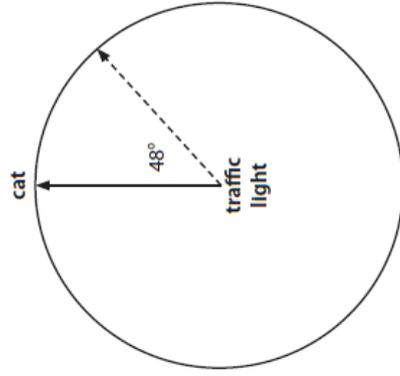


7. Imagine you are standing at the **traffic light** and facing the **house**.  
Point to the **flower**.

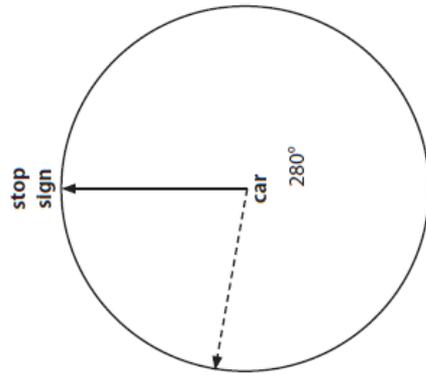


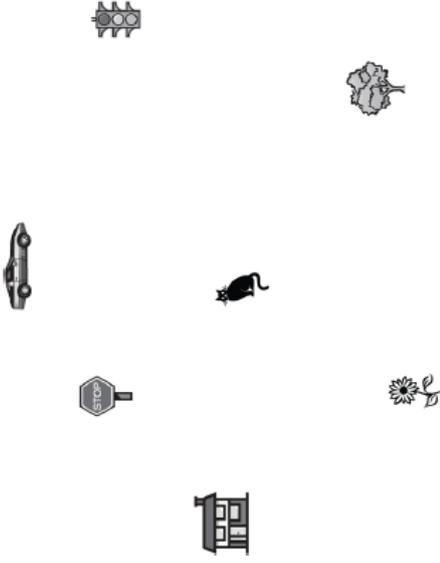


10. Imagine you are standing at the **traffic light** and facing the **cat**.  
Point to the **car**.

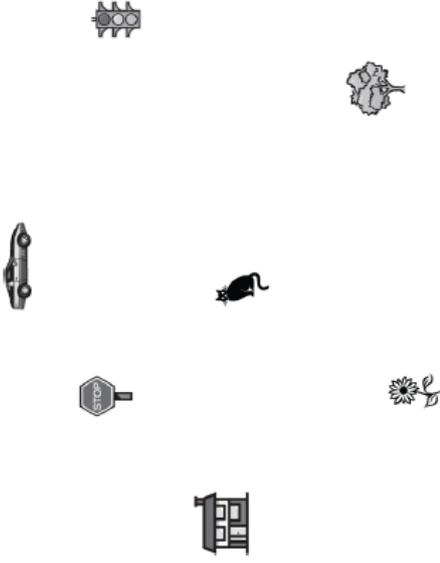
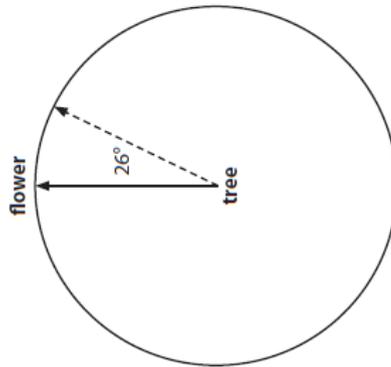


9. Imagine you are standing at the **car** and facing the **stop sign**.  
Point to the **tree**.

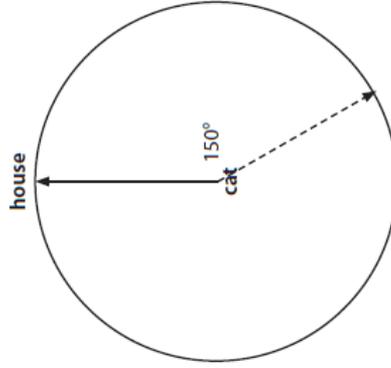




11. Imagine you are standing at the **tree** and facing the **flower**.  
Point to the **house**.



12. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **house**.  
Point to the **traffic light**.





**Titre :** Approche psycho-ergonomique de l'usage de la simulation en *e-learning* pour l'apprentissage de procédures : Le cas du point de suture

**Mots clés :** Apprentissage procédural, simulation, atomisation de l'action, perspective des instructions, *e-learning*, *blended-learning*

**Résumé :** L'apprentissage de gestes chirurgicaux, est un élément majeur de la formation des professions médicales. Un impératif éthique impose désormais que l'apprentissage de ces gestes s'effectue en simulation. Le but de cette thèse était de déterminer les facteurs psychologiques et pédagogiques permettant d'optimiser l'apprentissage procédural chez des étudiants en Médecine en combinant *e-learning* et simulation.

Pour répondre à cet objectif nous avons mis en place 5 études. La première cherchait à vérifier que les apprenants réalisaient une atomisation de l'action en début d'apprentissage. La deuxième comparait l'utilisation d'un paradigme permettant l'atomisation de l'action et d'un paradigme de réalisation différée. Les deux études suivantes s'intéressaient à l'ergonomie des instructions et plus particulièrement au point de vue de présentation, en tenant compte des aptitudes visuo-spatiales des apprenants.

La dernière étude visait à vérifier la validité d'une situation d'apprentissage en *blended learning*, en comparant deux organisations pédagogiques.

Les apports de cette thèse se situent à 3 niveaux. Au plan du déroulement de l'apprentissage procédural, les apprenants réalisent une atomisation de l'action lors de la première phase de l'apprentissage. Au plan méthodologique, il est donc essentiel que le paradigme d'étude utilisé prenne en compte ce processus, ainsi que les nombreuses répétitions nécessaires à l'apprentissage procédural. Au plan pédagogique, le point de vue égocentré serait le plus profitable, quelles que soient les aptitudes des apprenants. Enfin, l'utilisation d'une combinaison de *e-learning* et de simulation semble efficace pour l'apprentissage de procédures.

**Titre :** Psycho-ergonomic approach to the use of simulation in e-learning for procedural learning: The case of sutures

**Keywords :** Procedural learning, simulation, action atomization, instructions point of view, e-learning, blended-learning

**Abstract :** Learning surgical gestures is an important part of training for medical profession. An ethical imperative now requires that these gestures must be learned in a simulation situation. The objective of this thesis was to determine the psychological and pedagogical factors for optimizing procedural learning among medical students by combining e-learning and simulation.

To meet this objective, we have implemented 5 studies. The first study sought to confirm that learners did realize an action atomization process at the beginning of learning. The second study compared the use of a methodological paradigm allowing action atomization and a paradigm of delayed execution. The next two studies were concerned with the instructions design and more particularly with their perspective, taking into account the visuospatial abilities of the learners.

The last study investigated the validity of a blended learning course by comparing two educational organizations.

The contributions of this thesis fall into 3 areas. In terms of the procedural learning process, the learners atomize the action during the first phase of procedural learning. Methodologically, it is therefore essential that the study paradigm takes into account this process, as well as the many repetitions necessary for procedural learning. From an educational point of view, the self-centered point of view would be the most profitable, whatever the visuo-spatial abilities of the learners. Finally, using a combination of e-learning and face-to-face simulation seems to be effective for procedural learning.

**Ce projet bénéficie du soutien financier de la Région Bretagne et de l'Université de Bretagne Occidentale.**